

Desain bangunan penahan sedimen





© BSN 2015

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata.....	iii
Pendahuluan.....	v
1. Ruang lingkup.....	1
2. Acuan normatif.....	1
3. Istilah dan definisi	1
4. Persyaratan dan Ketentuan	2
4.1 Ketentuan fungsi bangunan penahan sedimen	2
4.2 Ketentuan fungsi kelengkapan bangunan penahan sedimen	2
4.3 Syarat keamanan dan stabilitas.....	3
4.4 Sistem manajemen K3.....	3
4.5 Tata letak bangunan penahan sedimen	4
4.6 Bentuk dan dimensi	4
4.7 Gaya-gaya yang bekerja.....	7
5. Data dan informasi.....	8
5.1 Peta	8
5.2 Data hidrologi.....	8
5.3 Data geoteknik dan peta zona kegempaan	9
5.4 Data geometri sungai.....	9
5.5 Data bangunan	9
5.6 Data morfologi sungai.....	9
5.7 Data bahan bangunan penahan sedimen.....	9
6. Desain bangunan penahan sedimen	10
6.1 Rumus dan persamaan	10
6.2 Pra desain hidraulik	17
6.3 Uji model hidraulik	18
6.4 Desain hidraulik	18
6.5 Desain struktur.....	19
Lampiran A.....	20
Lampiran B.....	22
Lampiran C	26
Lampiran D	30
Bibliografi	50

Gambar 1 - Potongan melintang bangunan penahan sedimen	6
Gambar 2 - Bagian peluap bangunan penahan sedimen	6
Gambar 3 - Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pada debit normal.....	7
Gambar 4 - Notasi pada bendung utama	10
Gambar 5 - Grafik dan Gambar untuk Menentukan Tekanan Dinamik pada Waktu Gempa ..	11
Gambar 6 - Tekanan pada tanah dasar.....	14
Gambar 7 - Notasi pada bendung utama, kolam olak dan sub bendung	16
Gambar A.1 - Diagram alir perencanaan teknik bangunan penahan sedimen.....	20
(desain hidraulik)	20
Gambar A.2 - Diagram alir perencanaan teknik bangunan penahan sedimen.....	21
(desain struktur).....	21
Gambar B.1 - Gambar stereometrik dan istilah-istilah pada bangunan penahan sedimen ..	22
Gambar B.2 - Potongan melintang bangunan penahan sedimen.....	22
Gambar B.3 - Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pada debit banjir	23
Gambar B.4 - Panjang dan lebar kolam olak.....	24
Gambar B.5 - Bangunan penahan sedimen tanpa ambang	24
Gambar B.6 - Bangunan penahan sedimen dengan ambang	25
Gambar B.7 - Gaya-gaya yang bekerja pada tembok tepi	25
Tabel C.1 Tinggi jagaan pada peluap.....	26
Tabel C.2 Penentuan lebar mercu.....	26
Tabel C.3 Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen	26
Tabel C.4 Angka keamanan terhadap geser yang disarankan.....	26
Tabel C.5 Beberapa nilai koefisien geser tanah dasar (sebagai acuan)	26
Tabel C.6 Nilai C_c dan C_w untuk menentukan panjang lintasan kritik	27
Tabel C.7 Contoh gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen tinggi < 15 meter (keadaan normal dan banjir).....	27
Tabel C.9 Contoh gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen tinggi ≥ 15 meter (keadaan banjir).....	29

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang “Desain bangunan penahan sedimen” merupakan revisi dari SNI 03-2851-1992, Tata cara perencanaan teknis bendung penahan sedimen.

Dalam SNI ini terdapat penambahan dan penyempurnaan meliputi:

- a) perubahan judul;
- b) perubahan susunan bab;
- c) penambahan acuan normatif;
- d) penambahan istilah dan definisi;
- e) penambahan persyaratan keamanan dalam tahap pelaksanaan konstruksi;
- f) penyempurnaan gambar-gambar;
- g) penjelasan rumus-rumus;
- h) perbaikan tabel;
- i) penjelasan notasi.

Standar ini disusun oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Sub Komite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air dan dibahas pada rapat konsensus pada tanggal 28 Juni 2012 di Bandung dengan melibatkan beberapa pakar, instansi/lembaga terkait dan narasumber, serta telah melalui proses jajak pendapat dari tanggal 15 September 2014 hingga 14 November 2014.

Penyusunan SNI ini mengacu pada PSN 08:2007 tentang Penulisan Standar Nasional Indonesia. SNI ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dan pegangan para praktisi di lapangan dan perencana dalam pembuatan desain bangunan penahan sedimen untuk mengendalikan aliran lahar, aliran debris dan aliran sedimen berlebih lainnya.

Pendahuluan

Untuk menanggulangi bencana alam akibat aliran sedimen berlebih, seperti aliran lahar dan aliran debris, Indonesia telah menerapkan teknologi sabo yang berasal dari Jepang. Kata "SABO" berasal dari bahasa Jepang, "SA" berarti pasir (*sand*) dan "BO" berarti penanggulangan (*countermeasure*). Dalam arti yang lebih umum dan luas, sabo berarti penanggulangan erosi dan sedimentasi. Penanggulangan bencana sedimen telah dilaksanakan sejak tahun tujuh puluhan, pasca erupsi G. Agung tahun 1963, G. Kelud tahun 1966 dan G. Merapi tahun 1969.

Bangunan Penahan Sedimen (BPS) adalah salah satu bangunan pengendali sedimen yang berfungsi untuk menampung dan mengendalikan aliran sedimen di sungai serta menahan endapan sedimen yang telah mengendap di hulu bangunan. Selain itu BPS mengendalikan kecepatan aliran dan mengendalikan debit sedimen agar tidak menimbulkan kerusakan lingkungan sungai dan prasarana sumber daya air lainnya, kerugian harta benda dan korban jiwa akibat aliran sedimen berlebih. BPS juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain asal tidak mengganggu fungsi utamanya, antara lain jembatan penyeberangan, pengambilan air dan lain-lain.

Ditinjau dari fungsi utamanya, BPS memerlukan spesifikasi khusus karena BPS dilewati oleh aliran lahar, debris atau aliran dengan konsentrasi sedimen tinggi. Selain itu BPS harus mampu menahan gaya-gaya yang bekerja, antara lain berat sendiri, tekanan air, tekanan sedimen, abrasi dan benturan akibat aliran lahar atau debris, gaya angkat (*uplift*), gaya gempa dan lain-lain.

Agar BPS yang dibuat dapat dipertanggungjawabkan keamanannya dan memudahkan para perencana untuk membuat desain BPS serta memberikan rasa aman kepada masyarakat di sekitarnya terhadap aliran lahar, debris dan aliran sedimen berlebih lainnya maka diperlukan standar desain BPS yang memuat persyaratan, ketentuan-ketentuan teknis serta perhitungan stabilitasnya.

Standar ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dan pegangan para praktisi di lapangan dan perencana dalam pembuatan desain bangunan penahan sedimen untuk mengendalikan aliran lahar, aliran debris dan aliran sedimen berlebih lainnya.



Desain bangunan penahan sedimen

1. Ruang lingkup

Standar ini menetapkan ketentuan mengenai desain bangunan penahan sedimen yang meliputi ketentuan dan persyaratan, data dan informasi yang diperlukan serta perhitungan untuk desain bangunan penahan sedimen (BPS).

2. Acuan normatif

SNI 03-2401-1991, *Tata cara perencanaan umum bendung*.

SNI 03-2415-1991, *Tata cara perhitungan debit banjir*.

SNI 1726:2012, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*.

3. Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam standar ini adalah sebagai berikut:

3.1

aliran

gerakan air yang dinyatakan dengan gejala dan parameter.

3.2

angkutan sedimen

pergerakan material batuan dan tanah yang berasal atau berada di lembah, tebing dan dasar sungai oleh aliran air.

3.3

bangunan penahan sedimen

bangunan air di sungai yang berfungsi sebagai penahan sedimen, tipe gravitasi atau tipe lainnya, yang dapat mengendalikan kecepatan, debit dan arah aliran sedimen, menampung sedimen baik secara tetap maupun sementara dan terdiri dari tubuh bendung termasuk fondasi, peluap yang dapat dilimpasi sedimen, sayap dan bangunan pelengkap yang mercunya dilimpasi aliran air.

3.4

daerah aliran sungai

suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

3.5

debit desain

volume air yang didesain mengalir melalui suatu bangunan air pada waktu tertentu.

3.6

desain

suatu kegiatan perancangan atau biasa dikenal dengan perencanaan teknik.

3.7

desain hidraulik

tahapan kegiatan analisis terhadap pilihan/alternatif hasil pra desain hidraulik dengan atau tanpa bantuan uji model hidraulik untuk menentukan bentuk dan ukuran yang baik ditinjau dari segi hidraulik; tahapan ini dimaksudkan juga untuk mendapatkan rencana pengoperasian dari segi hidraulik dan pemeliharaan.

3.8

desain struktur

tahapan kegiatan desain berupa tinjauan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan dan tanah fondasi, untuk mendapatkan tata letak, bentuk, dan dimensi bangunan beserta kelengkapannya sehingga aman dan stabil.

3.9

sungai

alur atau wadah air alami dan/atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air didalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan.

3.10

struktur tanah

keadaan susunan butiran tanah yang menghasilkan suatu bentuk ikatan tertentu secara alamiah.

3.11

sifat fisik tanah

keadaan susunan butiran tanah yang ditentukan oleh gabungan antara keadaan gradasi dan struktur tanah, antara lain sifat infiltrasi, perkolasi, dan erodibilitas yang ditentukan berdasarkan pengujian laboratorium dan/atau di lapangan dan juga diklasifikasikan dengan/atau tanpa dianalisis.

4. Persyaratan dan Ketentuan

4.1 Ketentuan fungsi bangunan penahan sedimen

Bangunan penahan sedimen yang direncanakan harus dapat berfungsi:

- Mengendalikan laju angkutan sedimen.
- Mengendalikan stabilitas morfologi sungai.
- Memperkecil kemiringan dasar sungai di hulu.
- Mengarahkan aliran di hilir.
- Menampung sedimen baik secara tetap maupun sementara.
- Bila dimanfaatkan untuk kepentingan lain, tidak akan mengubah dan mengganggu fungsi utamanya.

4.2 Ketentuan fungsi kelengkapan bangunan penahan sedimen

4.2.1 Tubuh bangunan penahan sedimen

Tubuh bendung berfungsi untuk mengendalikan volume, angkutan sedimen dan gradasi sedimen yang ditahan dan yang diloloskan sesuai dengan rencana, terdiri dari :

a) Peluap bangunan penahan sedimen

Peluap bangunan penahan sedimen berfungsi untuk melewati debit desain.

b) Sayap bangunan penahan sedimen

Tembok sayap berfungsi sebagai pengarah arus, pencegah aliran samping dan sebagai penahan tanah atau pengaman terhadap longsor tebing.

4.2.2 Tembok tepi

Tembok tepi berfungsi sebagai penahan tanah, pencegah rembesan ke samping, pengarah arus atau aliran sungai pada kolam olak.

4.2.3 Lantai kolam olak

Lantai kolam olak berfungsi untuk menjaga keamanan tubuh bangunan penahan sedimen terhadap gerusan yang diakibatkan oleh terjunan dan benturan.

4.2.4 Lubang drainase

Lubang drainase berfungsi sebagai saluran untuk meloloskan air agar tidak ikut tertahan oleh tubuh bendung.

4.3 Syarat keamanan dan stabilitas

Desain bangunan penahan sedimen harus menghasilkan bangunan yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Persyaratan stabilitas meliputi:
 - 1) Aman terhadap guling ($FK_{guling} \geq 2$).
 - 2) Aman terhadap geser ($FK_{geser} \geq 1,5$).
 - 3) Aman terhadap daya dukung tanah ($FK \geq 1,5$).
 - 4) Memenuhi persyaratan penurunan yang diijinkan (1 – 2 cm).
 - 5) Aman terhadap *overall stability*.
- b) Peluap bangunan penahan sedimen harus mampu melewati debit desain.
- c) Permukaan peluap dan tubuh bangunan penahan sedimen harus aman terhadap abrasi dan benturan.
- d) Sayap bangunan penahan sedimen harus aman terhadap benturan dan gerusan.
- e) Lantai kolam olak harus aman terhadap terjunan dan benturan.
- f) Bangunan penahan sedimen harus aman terhadap gerusan lokal, rembesan, dan erosi buluh.
- g) Tembok tepi harus terhindar dari terjunan.

4.4 Sistem manajemen K3

Unsur Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) sudah harus dipertimbangkan dalam desain dan dilaksanakan dalam tahap pelaksanaan konstruksi, kegiatan operasi dan pemeliharaan untuk mencegah, mengurangi bahkan menihilkan risiko kecelakaan kerja mengacu pada peraturan yang berlaku. (Peraturan Menteri PU No. 09/PRT/M/2008 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) konstruksi bidang pekerjaan umum dan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. PER.01/MEN/1980 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Konstruksi Bangunan)

4.5 Tata letak bangunan penahan sedimen

Tata letak bangunan penahan sedimen harus memenuhi ketentuan-ketentuan, sebagai berikut:

- a) Lokasi bangunan penahan sedimen ditetapkan pada ruas sungai yang lurus dan pada kondisi geologi yang baik.
- b) Apabila lokasi bangunan penahan sedimen pada tikungan sungai, harus dilakukan tinjauan hidraulik terhadap kemungkinan limpasan dan gerusan pada tebing luar tikungan baik di hulu maupun di hilir bangunan.
- c) Letak bangunan penahan sedimen ditentukan pada daerah dengan volume tampung besar yang daerah genangannya tidak terdapat perkampungan dan lahan pertanian.
- d) Harus saling terkonsolidasi dan melindungi dari bahaya degradasi sungai.
- e) Sumbu bangunan penahan sedimen harus tegak lurus arah aliran di bagian hilirnya.

4.6 Bentuk dan dimensi

Bentuk dan dimensi bangunan penahan sedimen beserta kelengkapannya harus memenuhi ketentuan-ketentuan, sebagai berikut:

4.6.1 Panjang bangunan penahan sedimen seluruhnya

- a) Bentuk bangunan penahan sedimen ke arah lebar sungai disesuaikan dengan bentuk penampang melintang sungai dan sifat tanah dasarnya.
- b) Panjang bangunan penahan sedimen harus dapat menutup seluruh lebar sungai dengan baik.
- c) Bagian pangkal bangunan penahan sedimen harus didesain agar bangunan aman terhadap bahaya gerusan dan erosi buluh.

4.6.2 Bendung utama

- a) Peluap bendung utama
 - 1) Peluap harus dibuat berbentuk trapesium tunggal.
 - 2) Lebar peluap harus lebih kecil dari pada lebar sungai.
 - 3) Tinggi peluap ditentukan berdasarkan debit desain dan tinggi jagaan.
 - 4) Tinggi jagaan harus ditentukan sesuai dengan Tabel C.1.
 - 5) Perbandingan antara lebar dan tinggi peluap ditentukan agar dapat terbentuk alur aliran yang stabil dan terkendali, serta harus dipertimbangkan pula gerusan lokal pada waktu debit desain.
- b) Mercu peluap bendung utama
 - 1) Mercu harus berbentuk ambang lebar, dan sudutnya tidak dibulatkan.
 - 2) Lebar mercu ditentukan sesuai dengan Tabel C.2.
- c) Sayap bendung utama
 - 1) Kemiringan sayap ke arah tebing minimum sama dengan kemiringan dasar sungai di hulu bangunan penahan sedimen dan maksimum 10%.
 - 2) Panjang sayap sebelah kiri dan kanan boleh tidak sama dan ditentukan berdasarkan letak sumbu aliran.
 - 3) Lebar sayap bagian atas harus sama mulai dari pangkal sampai ujungnya.

- 4) Sisi hulu sayap harus dibuat tegak.
 - 5) Sisi hilir sayap boleh tegak atau miring, dan dibuat sama dengan kemiringan sisi hilir bendung utama.
 - 6) Lebar sayap bagian atas maksimum sama dengan lebar mercu, minimum ditentukan berdasarkan gaya-gaya akibat benturan.
- d) Tubuh bendung utama
- 1) Kemiringan bagian hilir ditentukan agar aliran tidak menyusur permukaan bagian hilirnya, perbandingan tegak dan datar 1:0,2 maksimum 1:0,0 (tegak).
 - 2) Kemiringan bagian hulu dari bendung utama harus ditentukan berdasarkan syarat stabilitas bangunan dan untuk itu dapat digunakan persamaan (3) atau (4).
 - 3) Tinggi bendung utama:
 - (1) Tinggi efektif bendung utama ditentukan agar pengendapan di bagian hulu tidak mengganggu bangunan lain di hulu sungai;
 - (2) Tinggi efektif itu ditentukan juga berdasarkan pada kapasitas tampung rencana;
 - (3) Tinggi total bendung utama ditentukan dengan memperhatikan kondisi lokasi bangunan penahan sedimen;
 - (4) Dengan memperhitungkan tinggi sayap pada tebing sungai, tinggi bendung utama harus dibuat agar bagian atas sayap lebih rendah dari tebing sungai.
 - 4) Lebar dasar bendung utama harus ditentukan berdasarkan pada analisa dan perhitungan stabilitas, serta daya dukung tanah dasar.

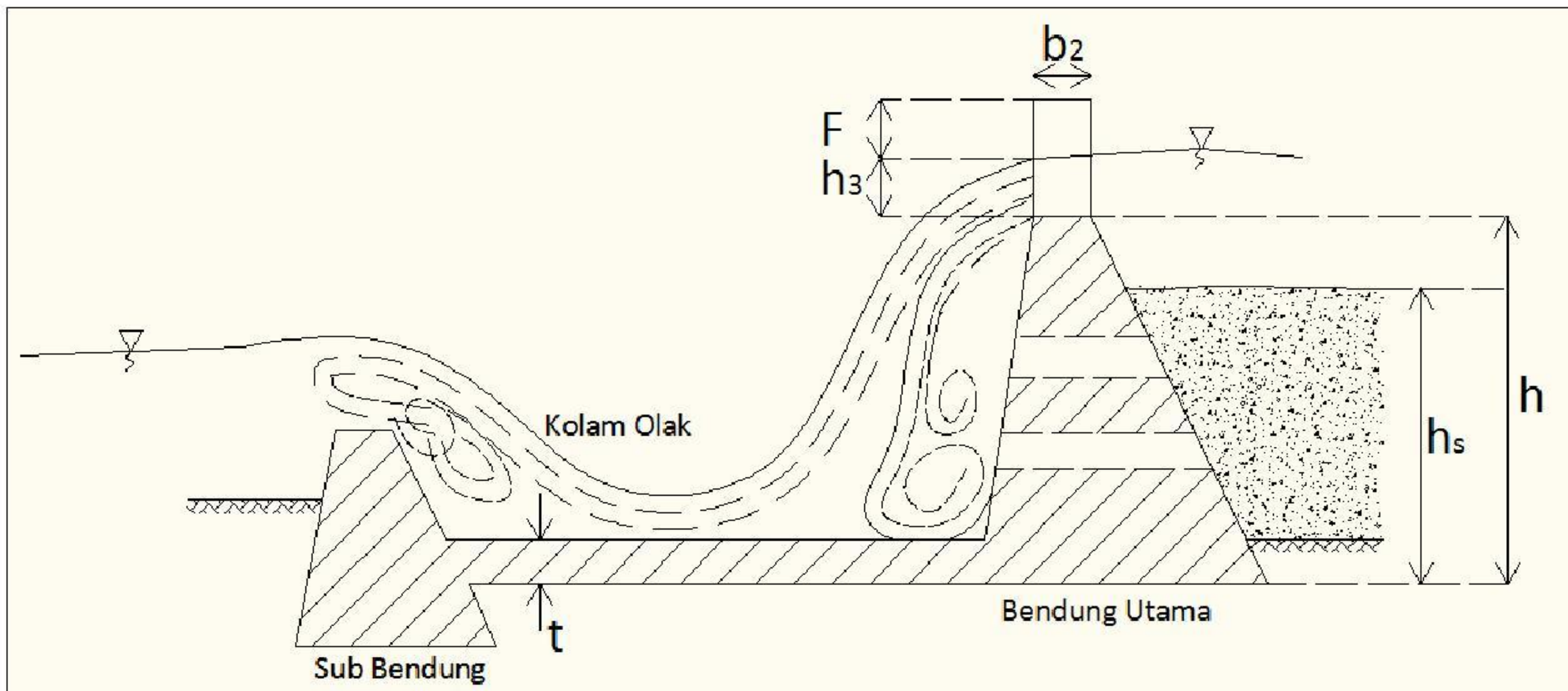
4.6.3 Sub bendung

- a) Bentuk mercu dan kemiringan hilir sub bendung sama dengan bentuk bendung utama.
- b) Dimensi sub bendung disesuaikan dengan gaya-gaya yang bekerja.
- c) Tinggi mercu sub bendung dari dasar kolam olah ditentukan berdasarkan persamaan empiris.

$$h_2 = \left(\frac{1}{3} s/d \frac{1}{4} \right) h \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- h adalah tinggi total bendung utama (m);
 h₂ adalah tinggi mercu sub bendung dari dasar kolam olah (m).



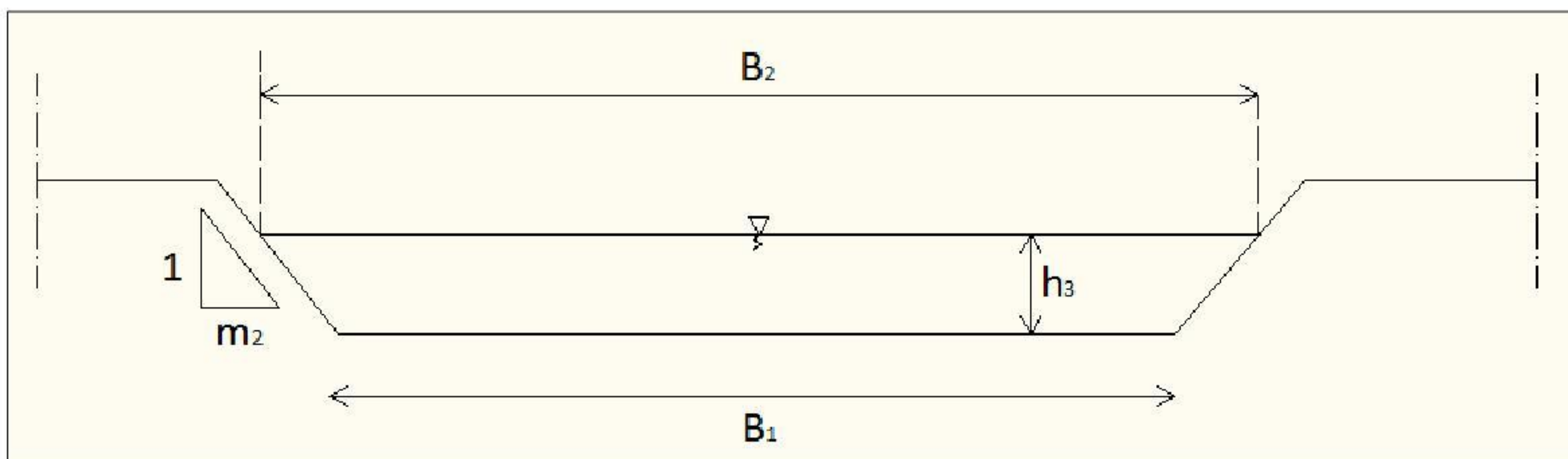
Gambar 1 - Potongan melintang bangunan penahan sedimen

Keterangan :

- b_2 adalah lebar sayap bendung utama;
- F adalah tinggi jagaan;
- h adalah tinggi total bendung utama;
- h_s adalah tinggi sedimen dari dasar bendung utama;
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap;
- t adalah tebal lantai kolam olak.

4.6.4 Kolam olak

- a) Bentuk kolam olak harus dibuat berdasarkan gaya-gaya yang diakibatkan oleh terjunan (lihat Gambar 1).
- b) Lebar kolam olak ditentukan sesuai dengan lebar peluap, tinggi peluap, dan kemiringan dinding peluap (lihat Gambar 2).
- c) Panjang kolam olak ditentukan menurut rumus (18) s/d (27).
- d) Tebal lantai kolam olak ditentukan sesuai dengan rumus (28) atau (29).



Gambar 2 - Bagian peluap bangunan penahan sedimen

Keterangan :

- B_1 adalah lebar dasar peluap;
- B_2 adalah lebar muka air di atas peluap;
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap;
- m_2 adalah kemiringan sisi peluap.

4.6.5 Bangunan pelengkap

a) Tembok tepi harus didesain:

- 1) Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja.
- 2) Cukup kuat terhadap gaya-gaya akibat aliran air dan sedimen.

(Lihat Gambar 7)

b) Lubang drainase:

- 1) Bentuk dan penampang lintang lubang drainase dapat berbentuk lingkaran atau segi empat, diletakkan *perforated* (selang-seling) dengan ukuran $\pm 1 \times 1 \text{ m}^2$.
- 2) Jumlah dan ukuran lubang drainase ditentukan berdasarkan debit dominan.
- 3) Jarak antar lubang 4 – 5 m.

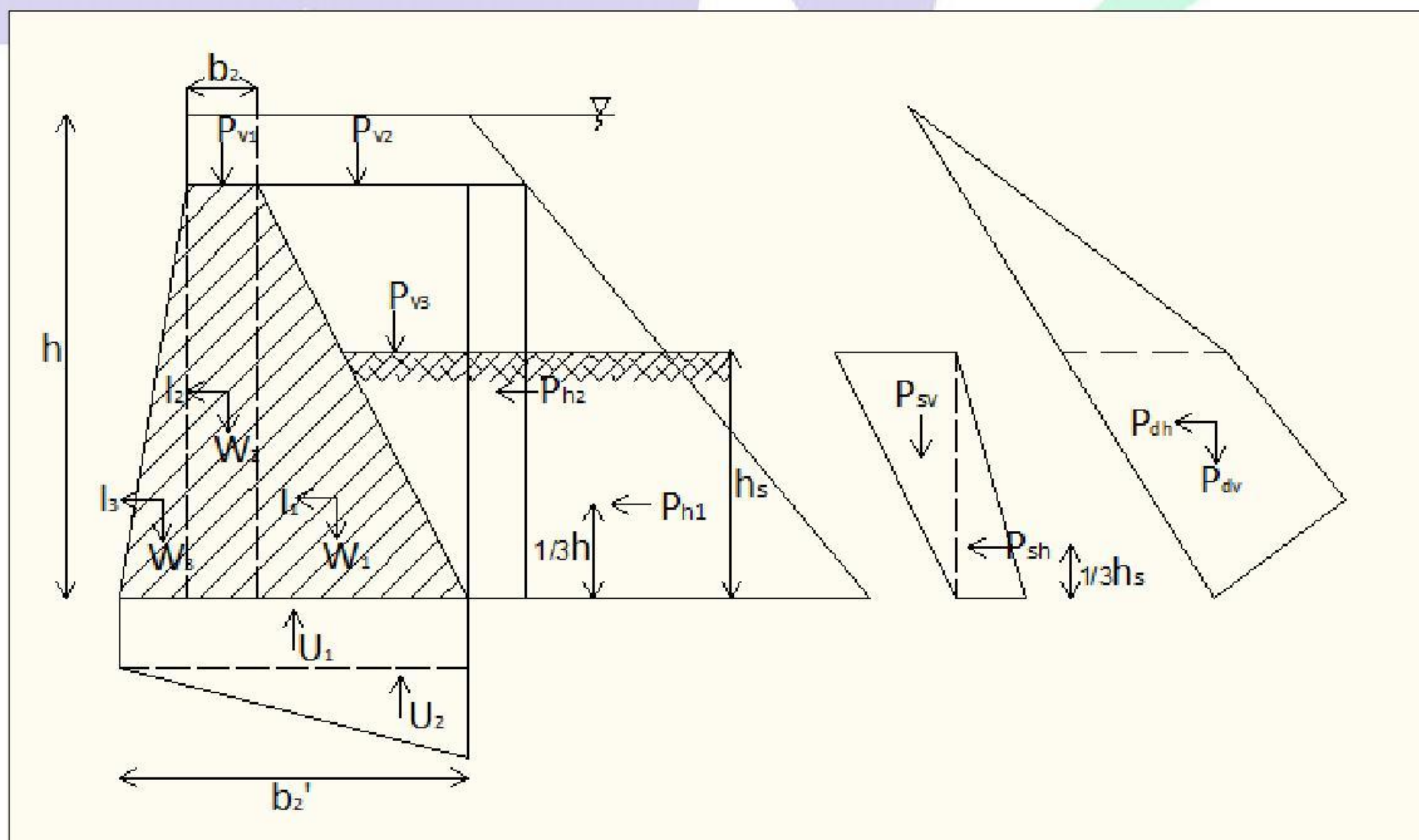
(Lihat Gambar B1 pada Lampiran B)

4.7 Gaya-gaya yang bekerja

Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen meliputi sebagai berikut:

- a) tekanan hidrostatik dan hidrodinamik;
- b) berat sendiri bangunan penahan sedimen;
- c) tekanan tanah/sedimen;
- d) tekanan angkat (*uplift*);
- e) gaya inersia akibat gempa.

Gaya-gaya yang bekerja untuk berbagai kondisi bangunan penahan sedimen selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.3.



Gambar 3 - Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pada debit normal

Keterangan :

b_2	adalah lebar sayap bendung utama;
b_2'	adalah lebar dasar bendung utama;
P_{dv}	adalah tekanan hidrodinamik arah vertikal;
P_{dh}	adalah tekanan hidrodinamik arah horizontal;
P_{sh}	adalah tekanan tanah/sedimen arah horizontal;
P_{sv}	adalah tekanan tanah/sedimen arah vertikal;
h	adalah tinggi total bendung utama;
h_s	adalah tinggi sedimen dari dasar bendung utama;
I_1, I_2, I_3	adalah gaya inersia akibat gempa;
U_1, U_2	adalah gaya angkat (<i>uplift</i>);
P_{v1}, P_{v2}, P_{v3}	adalah tekanan hidrostatik arah vertikal;
P_{h1}, P_{h2}	adalah tekanan hidrostatik arah horizontal;
W_1, W_2, W_3	adalah gaya akibat berat sendiri.

5. Data dan informasi

Data dan informasi yang diperlukan untuk membuat desain bangunan penahan sedimen meliputi:

5.1 Peta

Untuk perencanaan bangunan penahan sedimen diperlukan:

- Peta topografi 1:50.000 atau lebih detail. Peta topografi digunakan untuk menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan mencari stasiun-stasiun penakar hujan yang bersangkutan dalam peta.
- Peta situasi sungai dengan skala 1:5.000, atau lebih detail. Peta dengan skala lebih besar digunakan untuk pembuatan desain rinci.
- Peta geologi atau peta daerah longsor (skala 1:250.000 atau lebih detail) untuk mengetahui daerah-daerah sumber deposit sedimen.

5.2 Data hidrologi

Data hidrologi untuk menentukan debit desain periode ulang untuk pelimpah 100 tahun (Q_{100}), dalam perencanaan bangunan penahan sedimen dibagi menjadi dua macam (penjelasan secara rinci dapat dilihat pada SNI 03-2401-2004, yaitu:

- dengan menggunakan data debit sungai hasil pengukuran langsung;
- dengan menggunakan data hujan.

5.2.1 Data debit sungai hasil pengukuran langsung

Data ini adalah data debit sungai hasil survei dan penyelidikan hidrometri dengan melakukan pengukuran kecepatan aliran di lapangan dan/atau hasil perhitungan hidraulik sungai dengan menggunakan rumus-rumus atau persamaan hidraulik sungai.

5.2.2 Data hujan

Data hujan dipergunakan apabila data debit sungai yang tersedia tidak cukup panjang, tetapi data hujan yang tersedia cukup panjang maka berdasarkan data hujan yang ada terlebih dahulu dihitung hujan rencana dengan menggunakan cara-cara statistik. Kemudian debit desain dihitung dengan menggunakan metode-metode atau pedoman yang berlaku.

5.3 Data geoteknik dan peta zona kegempaan

Data geoteknik yang diperlukan untuk desain bangunan penahan sedimen di antaranya:

- Sifat fisik tanah dan batuan di sekitar calon lokasi bangunan penahan sedimen meliputi: berat jenis, berat isi, kadar air, konsistensi dan angka kelulusan air (k), serta gradasi butiran.
- Sifat teknik tanah dan batuan meliputi: parameter kekuatan geser (c , ϕ'), parameter deformasi (E , C_c , c_v , n_v) dan parameter keadaan tegangan (*state of stress*) (γ_m , γ_d , γ_s , h , K_0).
- Profil pelapisan yang akan memberikan informasi mengenai lapisan tanah/batuan.
- Peta zona kegempaan untuk menentukan besarnya koefisien seismik.

5.4 Data geometri sungai

Data geometri sungai yang diperlukan untuk desain bangunan penahan sedimen di antaranya: bentuk dan ukuran dasar sungai terdalam, alur, palung dan lembah sungai secara vertikal dan horizontal (penampang melintang dan memanjang sungai), mencakup parameter: panjang, lebar, kemiringan, ketinggian dan kekasaran.

5.5 Data bangunan

Data bangunan sungai di hulu dan di hilirnya yang akan berpengaruh terhadap bangunan penahan sedimen yang akan didesain.

5.6 Data morfologi sungai

Data dan informasi morfologi sungai yang diperlukan antara lain dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut:

- Bentuk dan ukuran alur, palung, lembah.
- Kemiringan dasar sungai: sungai terjal dan landai.
- Lokasi daerah aliran: hulu, tengah, hilir, pegunungan dan dataran.
- Jenis, sifat lapisan dan material dasar sungai, tebing dan lembah.
- Perubahan geometri sungai ke arah vertikal: sungai beragradasi, sungai berdegradasi, stabil dinamik.
- Perubahan geometri sungai ke arah horizontal: sungai berliku, lurus, berjaln.
- Degradasi atau penurunan dasar alur dan atau palung sungai dengan parameter: panjang, lebar dan dalam.
- Agradasi/sedimentasi atau peninggian dasar alur dan atau palung sungai dengan parameter: panjang, lebar dan dalam.
- Data sedimen dan angkutan sedimen.

5.7 Data bahan bangunan penahan sedimen

Pemilihan bahan yang akan digunakan untuk bangunan penahan sedimen dan kelengkapannya perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Sumber dan jumlah yang tersedia.
- Jenis dan ketahanan umur.
- Sifat fisik dan teknik bahan bangunan penahan sedimen yang terdiri dari: berat jenis, berat volume, gradasi butiran, keausan dan kekasaran, sifat pemadatan, kekuatan geser, persyaratan kualitas, kemudahan pengerjaan dan nilai ekonomis.

6. Desain bangunan penahan sedimen

6.1 Rumus dan persamaan

Rumus dan persamaan yang digunakan untuk desain bangunan penahan sedimen sebagai berikut.

6.1.1 Rumus untuk menentukan dimensi peluap

$$Q = \frac{2}{15} C \sqrt{2g} [3B_1 + 2B_2] h_3^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- B_1 adalah lebar dasar peluap (m);
- B_2 adalah lebar muka air di atas peluap (m);
- C adalah koefisien peluapan (0,60 – 0,66);
- g adalah percepatan gravitasi (m/s^2 ; diambil $9,8 m/s^2$);
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap (m);
- Q adalah debit desain (m^3/s).

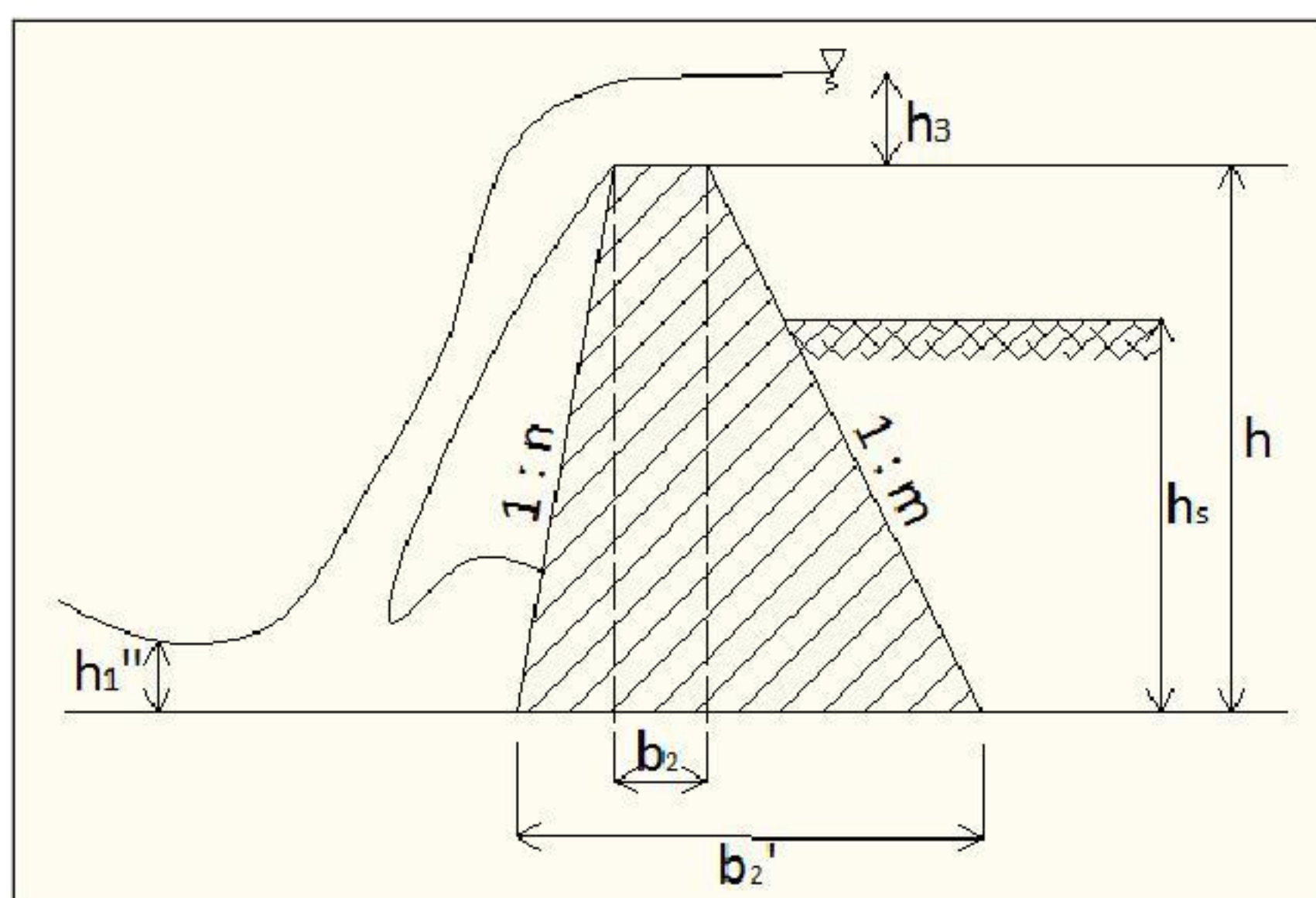
6.1.2 Persamaan untuk menentukan kemiringan tubuh bendung utama

a) Kemiringan bagian hulu (untuk tinggi bendung utama < 15 m)

$$(1 + \alpha) m^2 + [2(n + \beta) + n(4\alpha + \gamma) + 2\alpha\beta]m - (1 + 3\alpha) + \alpha\beta(4n + \beta) + \gamma(3n\beta + \beta^2 + n^2) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- α adalah rasio tinggi peluapan dan tinggi bendung utama (h_3/h);
- β adalah rasio panjang dasar peluap dan tinggi bendung utama (b_1/h);
- γ adalah rasio γ_c dan γ_0 (γ_c/γ_0);
- γ_c adalah berat isi bendung utama;
- γ_0 adalah berat isi aliran (besarnya kira-kira $1,0 - 1,2 \text{ ton } /m^3$);
- m adalah kemiringan tubuh bendung bagian hulu;
- n adalah kemiringan tubuh bendung bagian hilir;



Gambar 4 - Notasi pada bendung utama

Keterangan :

- b_2 adalah lebar mercu bendung utama;
- b_2' adalah lebar dasar bendung utama;
- h adalah tinggi total bendung utama;
- h_1'' adalah tinggi muka air di hilir bendung utama;
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap;
- h_s adalah tinggi sedimen dari dasar bendung utama;
- m adalah kemiringan tubuh bendung bagian hulu;
- n adalah kemiringan tubuh bendung bagian hilir;

"Hak Cipta Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk penayangan di website Akses SNI dan tidak untuk dikomersilkan"

- b) Kemiringan bagian hulu (untuk tinggi bendung utama ≥ 15 m)

$$\begin{aligned} & \left\{ (1 + \alpha - \omega)(1 - \mu) + \Delta(2\varepsilon^2 - \varepsilon^3) \right\} m^2 + [2(n + \beta) \\ & \left\{ 1 + \Delta\varepsilon^2 - \mu(1 + \alpha - \omega) - \omega \right\} + n(4\alpha + \gamma) + 2\alpha\beta] m \\ & - (1 + 3\alpha) - \mu(1 + \alpha - \omega)(n + \beta)^2 - \Delta C_s \varepsilon^2 + \alpha\beta \\ & (4n + \beta) + \gamma(3n\beta + \beta^2 + n^2) - \omega(\beta + n)^2 = 0 \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

Keterangan :

C_s adalah koefisien tanah endapan, besarnya antara 0,3 - 0,6 sesuai dengan sudut geser dalam;

γ_s adalah berat isi sedimen dalam air (1,2 – 1,5 ton/m³);

γ_w adalah berat isi air ($1,0 \text{ ton/m}^3$);

Δ adalah rasio dari γ_s dan γ_w (γ_s/γ_w);

ε adalah rasio dari h_s dan h (h_s/h);

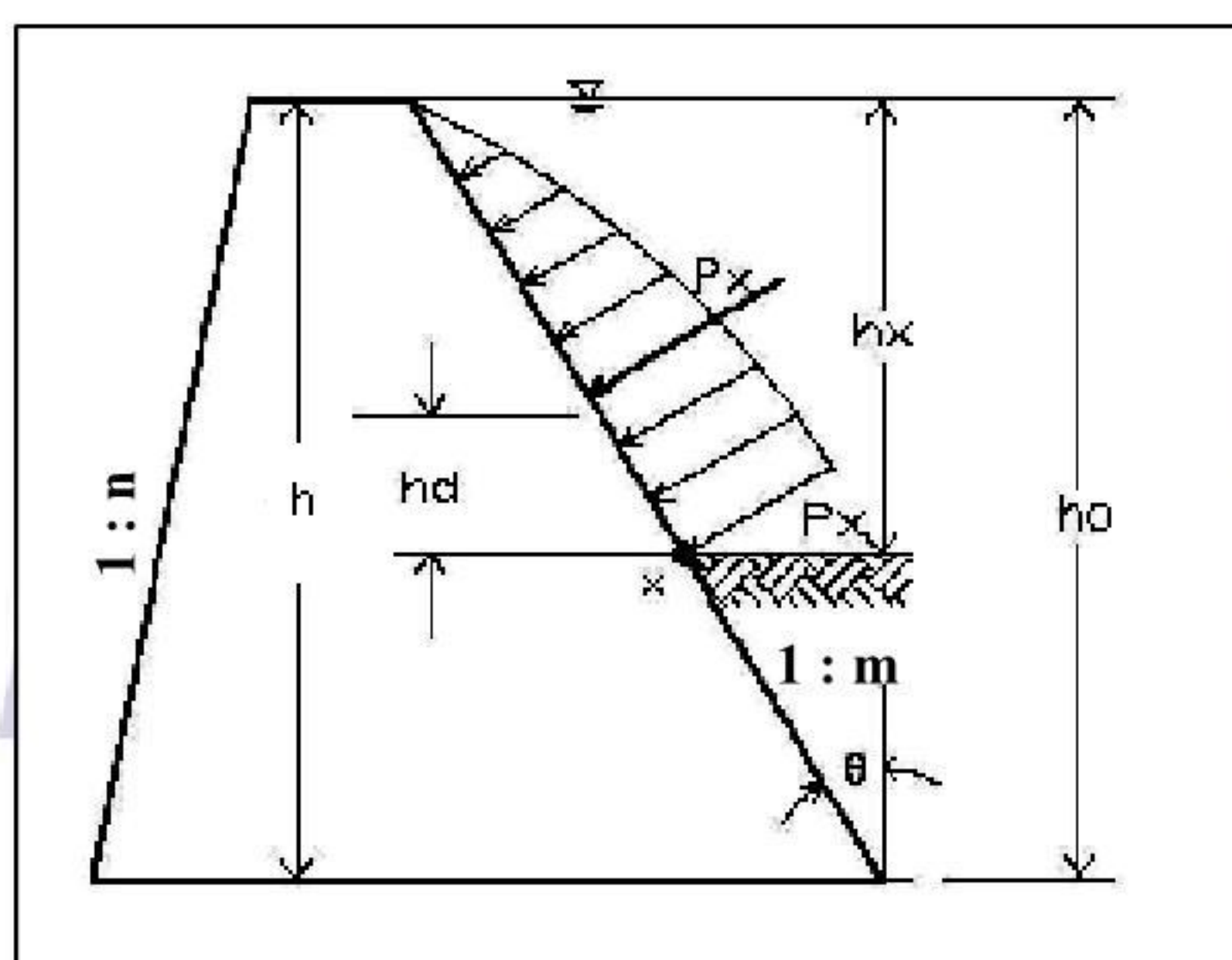
μ adalah koefisien *uplift* (0,3 – 1,0);

ω adalah rasio dari h_2 dan h (h_2/h);

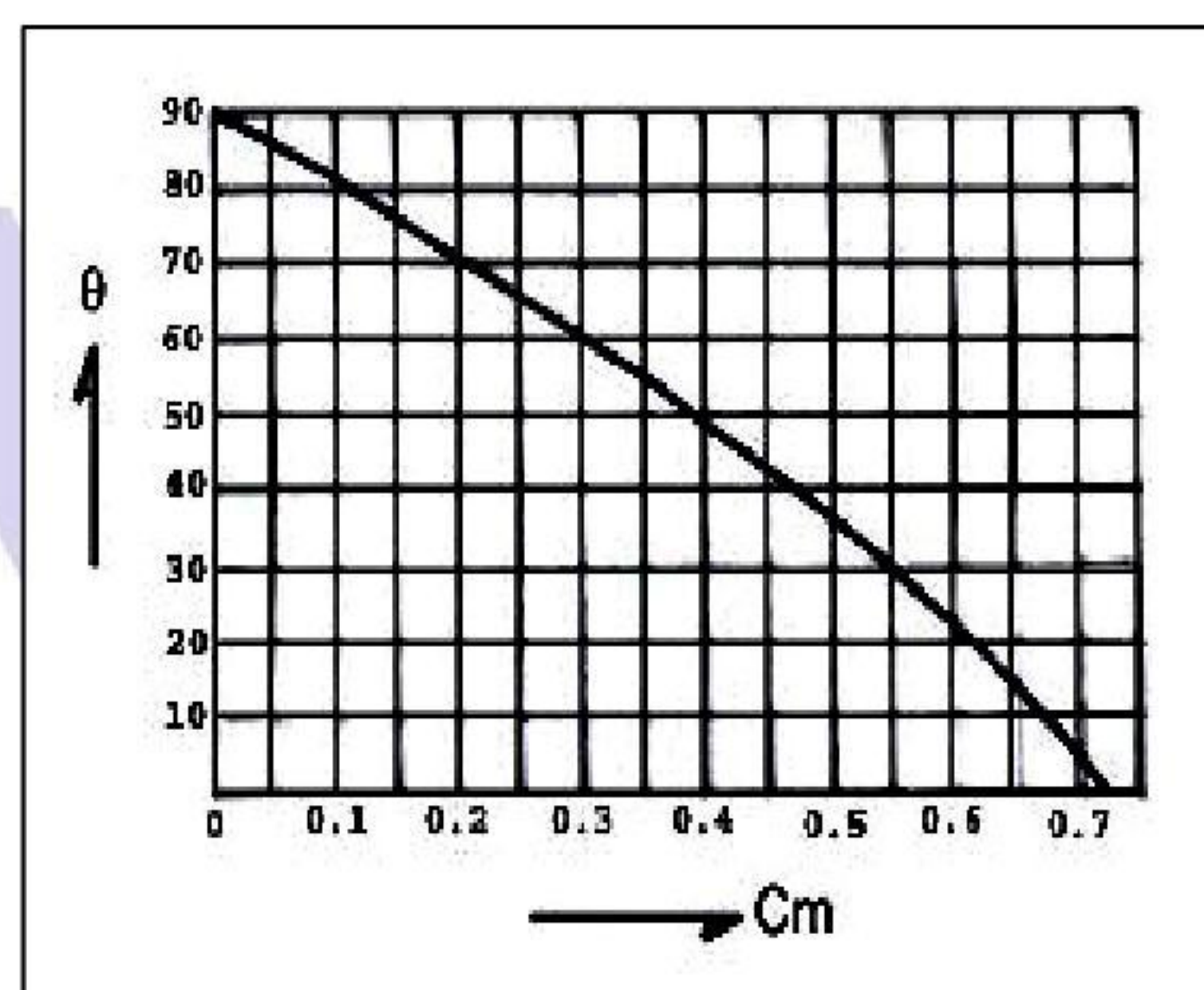
h_2 adalah tinggi muka air di atas peluap sub bendung (m);

m adalah kemiringan tubuh bendung bagian hulu;

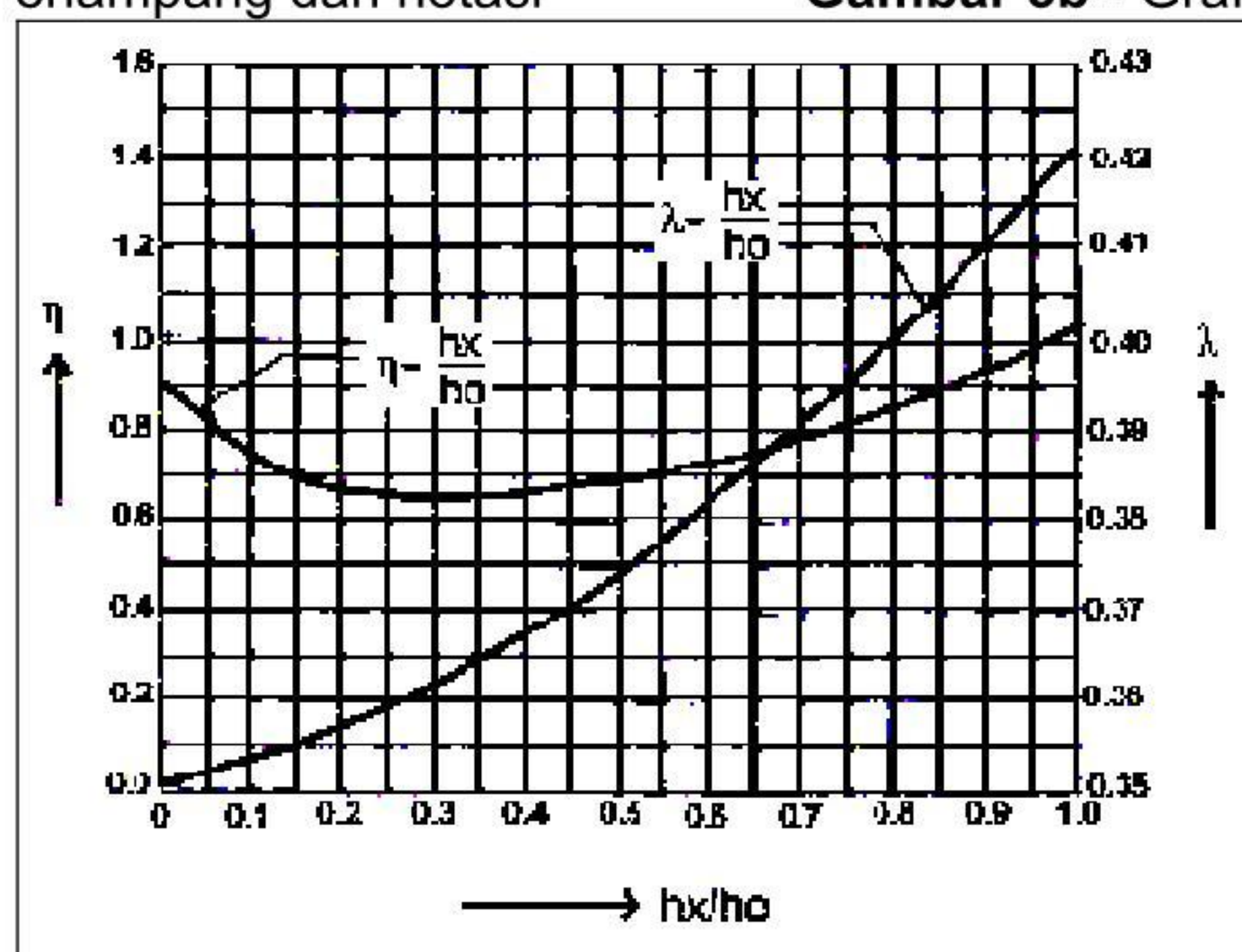
n adalah kemiringan tubuh bendung bagian hilir.



Gambar 5a - Penampang dan notasi



Gambar 5b - Grafik θ dan C_m



Gambar 5c - Grafik hubungan λ , η dan h_x/h_o

Gambar 5 - Grafik dan Gambar untuk Menentukan Tekanan Dinamik pada Waktu Gempa

Keterangan :

- C_m adalah koefisien yang dicari dari grafik pada Gambar 5b;
 h adalah tinggi total bendung utama;
 h_d adalah titik pusat tekanan hidrodinamik dari dasar endapan sedimen;
 h_o adalah kedalaman air dari permukaan sampai fondasi;
 h_x adalah kedalaman air dari permukaan sampai titik x;
 η adalah koefisien yang dicari dari grafik pada Gambar 5c;
 θ adalah sudut kemiringan hulu bendung utama;
 λ adalah nilai koefisien dari grafik Gambar 5c;
 P_x adalah tekanan hidrodinamik pada titik x;
 m adalah kemiringan tubuh bendung bagian hulu;
 n adalah kemiringan tubuh bendung bagian hilir.

6.1.3 Rumus untuk menghitung stabilitas

a) Rumus penggulingan

$$FK_{guling} = \frac{\sum M_t}{\sum M_g} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- FK_{guling} adalah angka keamanan terhadap guling ($FK_{guling} > 2$);
 $\sum M_t$ adalah jumlah momen penahan (kNm);
 $\sum M_g$ adalah jumlah momen guling (kNm).

b) Rumus untuk menentukan tekanan hidrodinamik pada saat gempa (rumus Zanglar)

$$P_x = C_d \gamma_w K h_o \dots\dots\dots (6)$$

$$C_d = \frac{C_m}{2} \left[\frac{h_x}{h_o} \left(2 - \frac{h_x}{h_o} + \sqrt{\frac{h_x}{h_o} \left(2 - \frac{h_x}{h_o} \right)} \right) \right] \dots\dots\dots (7)$$

$$P_d = \eta \frac{C_m}{2} \gamma_w K h_o^2 \sec \theta \dots\dots\dots (8)$$

$$h_d = \lambda h_x \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

- C_d adalah koefisien tekanan hidrodinamik;
 C_m adalah koefisien yang dicari dari grafik pada Gambar 5b;
 γ_w adalah berat isi air (ton/m^3);
 η, λ adalah koefisien yang dicari dari grafik pada Gambar 5c;
 h_d adalah jarak titik tangkap P_d ke titik x (m);
 h_o adalah kedalaman air dari permukaan sampai fondasi (m);
 h_x adalah kedalaman air dari permukaan sampai titik x (m);
 C_s adalah koefisien seismik (peta zona gempa) dengan periode ulang 20 ~ 50 tahun;
 x adalah titik tempat permukaan sedimentasi (m);
 P_d adalah tekanan hidrodinamik seluruhnya dari muka air sampai kedalaman titik x ($\text{ton/m}^2/\text{m}$);
 P_x adalah tekanan hidrodinamik pada titik x (ton/m^2).

c) Faktor keamanan terhadap daya dukung tanah fondasi

1) Daya dukung tanah

$$q_u = c N_c F_{fci} F_{cd} F_{cs} + q N_q F_{fqi} F_{qd} F_{qs} + \frac{1}{2} \gamma_m B N_\gamma F_{fyi} F_{yd} F_{ys} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Dimana,

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_q = \tan^2 (45 + \varphi/2) e^{\pi \tan \varphi}$$

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \varphi$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 (D/B')$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi_2 (1 - \sin \varphi_2)^2 (D/B')$$

$$F_{yd} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = (1 - \psi^\circ / 90^\circ)^2$$

$$F_{yi} = (1 - \psi^\circ / \varphi_2^\circ)^2$$

$$\psi^\circ = \tan^{-1} (P_a \cos \alpha / \Sigma V)$$

Keterangan :

B'	adalah lebar fondasi;
c	adalah kohesi;
D	adalah kedalaman tanah;
e	adalah eksentrisitas resultan gaya yang bekerja (m), dimana $-b_2/6 < e < b_2/6$;
F_{ci}, F_{qi}, N_{yi}	adalah faktor pengaruh akibat kemiringan beban;
F_{cd}, F_{qd}, N_{yd}	adalah faktor kedalaman;
F_{cs}, F_{qs}, N_{ys}	adalah faktor bentuk (diabaikan);
N_c, N_q, N_γ	adalah faktor daya dukung;
P_a	adalah gaya yang bekerja;
q	adalah daya dukung tanah;
q_u	adalah daya dukung tanah ultimit;
ΣV	adalah jumlah gaya vertikal yang bekerja (ton);
φ, φ_2	adalah sudut geser dalam;
γ_m	adalah berat isi.

2) Tekanan di dasar fondasi

(a) jika ΣV pada $b/2$ maka sentris

$$\sigma_{1,2} = \frac{\Sigma V}{b_2'} \quad \dots\dots\dots (11)$$

(b) jika $e < b_2/6$ maka

$$\sigma_{12} = \frac{\Sigma V}{b_2'} \left[1 \pm \frac{6e}{b_2'} \right] \quad \dots\dots\dots (12)$$

(c) jika $e > b_2/6 \rightarrow$ harus dihitung kembali

(d) jika ΣV pada $b/3 \rightarrow \sigma_{\max} = \sigma_1$ dan $\sigma_2 = 0$

Keterangan :

b_2' adalah lebar dasar bendung utama (m);

- e adalah eksentrisitas resultan gaya yang bekerja (m), dimana $-b_2/6 < e < b_2/6$
 ΣV adalah jumlah gaya vertikal yang bekerja (ton);
 σ_1 adalah tekanan tanah normal maksimum (ton/m^2) $\leq \sigma_{\text{tanah fondasi}}$;
 σ_2 adalah tekanan tanah normal minimum (ton/m^2);
 σ_{max} adalah tekanan tanah maksimal.

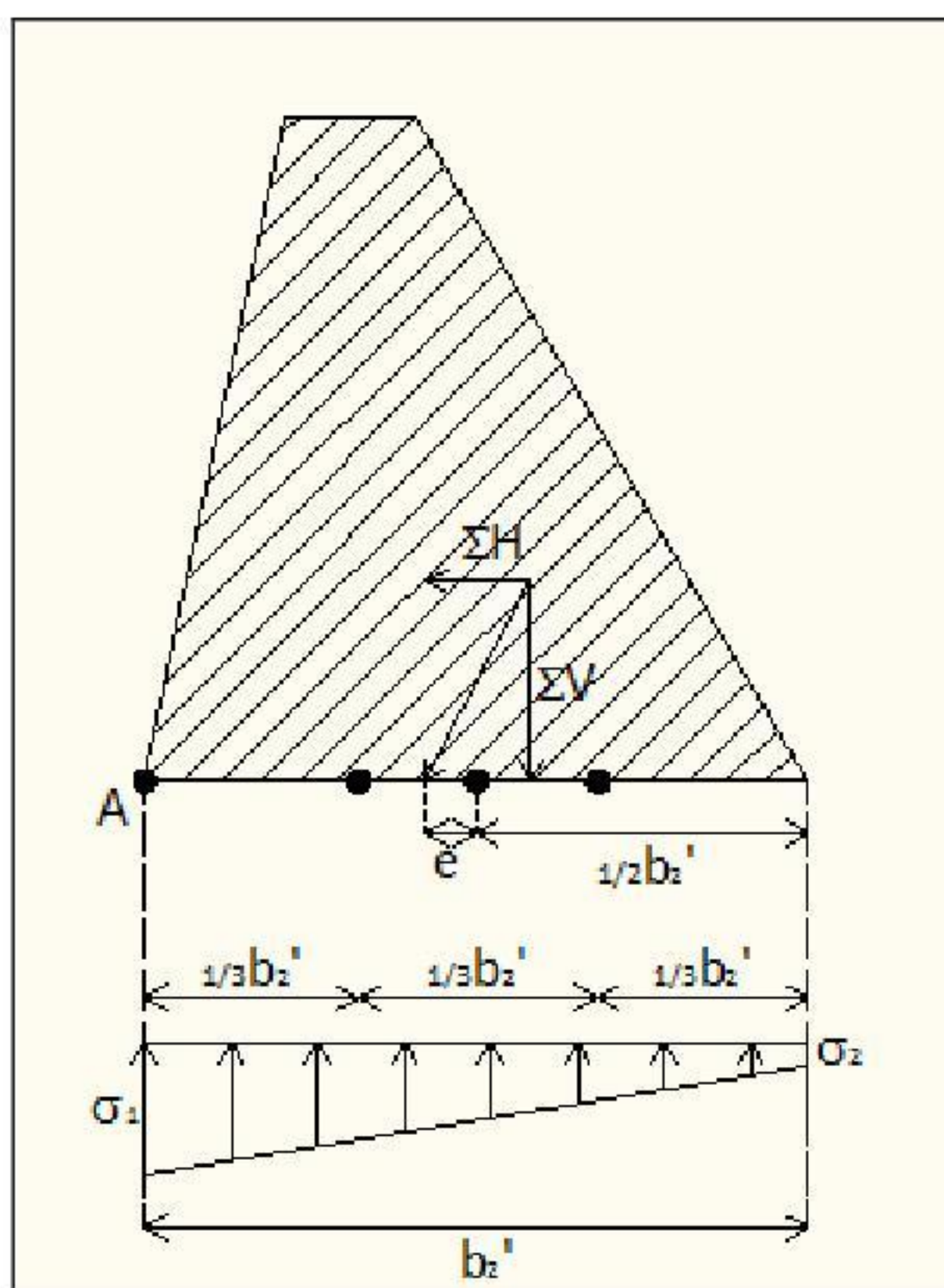
3) Faktor keamanan terhadap daya dukung

$$F_k = \frac{q_u}{\sigma_{\text{max}}} \dots\dots\dots(13)$$

*) Untuk tinggi bendung utama ≥ 15 m, maka ΣV dikurangi dengan *uplift*

Keterangan :

- F_k adalah faktor keamanan terhadap daya dukung;
 q_u adalah daya dukung tanah ultimit;
 σ_{max} adalah tekanan tanah maksimal.



Keterangan :

- A adalah titik guling depan;
 b_2' adalah lebar dasar bendung utama;
 e adalah eksentrisitas resultan gaya yang bekerja;
 ΣH adalah jumlah gaya horizontal yang bekerja;
 ΣV adalah jumlah gaya vertikal yang bekerja;
 σ_1 adalah tekanan tanah normal maksimum;
 σ_2 adalah tekanan tanah normal minimum.

Gambar 6 - Tekanan pada tanah dasar

d) Keamanan terhadap geser

$$FK_{\text{geser}} = \frac{\Sigma V \tan \phi + c b_2'}{\Sigma H} \dots\dots\dots(14)$$

$$\tan \phi = f$$

*f digunakan apabila tidak dilakukan *soil test*

Keterangan :

- b_2' adalah lebar dasar bendung utama (m);
 c adalah kohesi (ton/m^2);
 f adalah koefisien geser (yang ditentukan dengan Tabel C.5);
 FK_{geser} adalah angka keamanan terhadap geser yang ditentukan dengan Tabel C.4;

ΣV adalah jumlah gaya vertikal yang bekerja (ton/m');
 ΣH adalah jumlah gaya horizontal yang bekerja (ton/m');
 ϕ adalah sudut geser dalam (derajat).

(Lihat Gambar 6)

e) Masalah rembesan dan erosi buluh

$$Q = k A i \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan :

A adalah luas penampang tanah (cm²);
i adalah kemiringan hidraulik ($\Delta h/\Delta L$);
k adalah koefisien permeabilitas tanah (cm/s);
Q adalah debit rembesan (cm³/s).

Nilai Q_{\max} dan penjelasan secara rinci dapat diperiksa pada metode analisis dan cara pengendalian rembesan air untuk bendungan tipe urugan.

6.1.4 Rumus untuk menentukan panjang lintasan kritis

$$C_c = \frac{\ell + 2d}{\Delta h} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan:

C_c adalah koefisien rembesan yang disesuaikan dengan Tabel C.6;
d adalah panjang lintasan arah vertikal (m);
 Δh adalah selisih ketinggian muka air (m);
 ℓ adalah panjang lintasan arah horizontal (m).

$$C_w = \frac{\ell/3 + 2d}{\Delta h} \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

C_w adalah koefisien rembesan yang disesuaikan dengan Tabel C.6;
d adalah panjang lintasan arah vertikal (m);
 Δh adalah selisih ketinggian muka air (m);
 ℓ adalah panjang lintasan arah horizontal (m).

6.1.5 Rumus untuk menentukan panjang kolam olak

a) Persamaan hidraulik

$$L = l_w + x + b_1 \dots\dots\dots (18)$$

$$l_w = v_0 \left[\frac{2(h_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

$$v_0 = \frac{q_0}{h_3} \dots\dots\dots (20)$$

$$x = \beta h_j \dots\dots\dots (21)$$

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right] \dots\dots\dots (22)$$

$$h_1 = \frac{q_1}{h_3} \dots \dots \dots (23)$$

$$v_1 = \sqrt{2g(h_1 + h_3)} \dots\dots\dots (24)$$

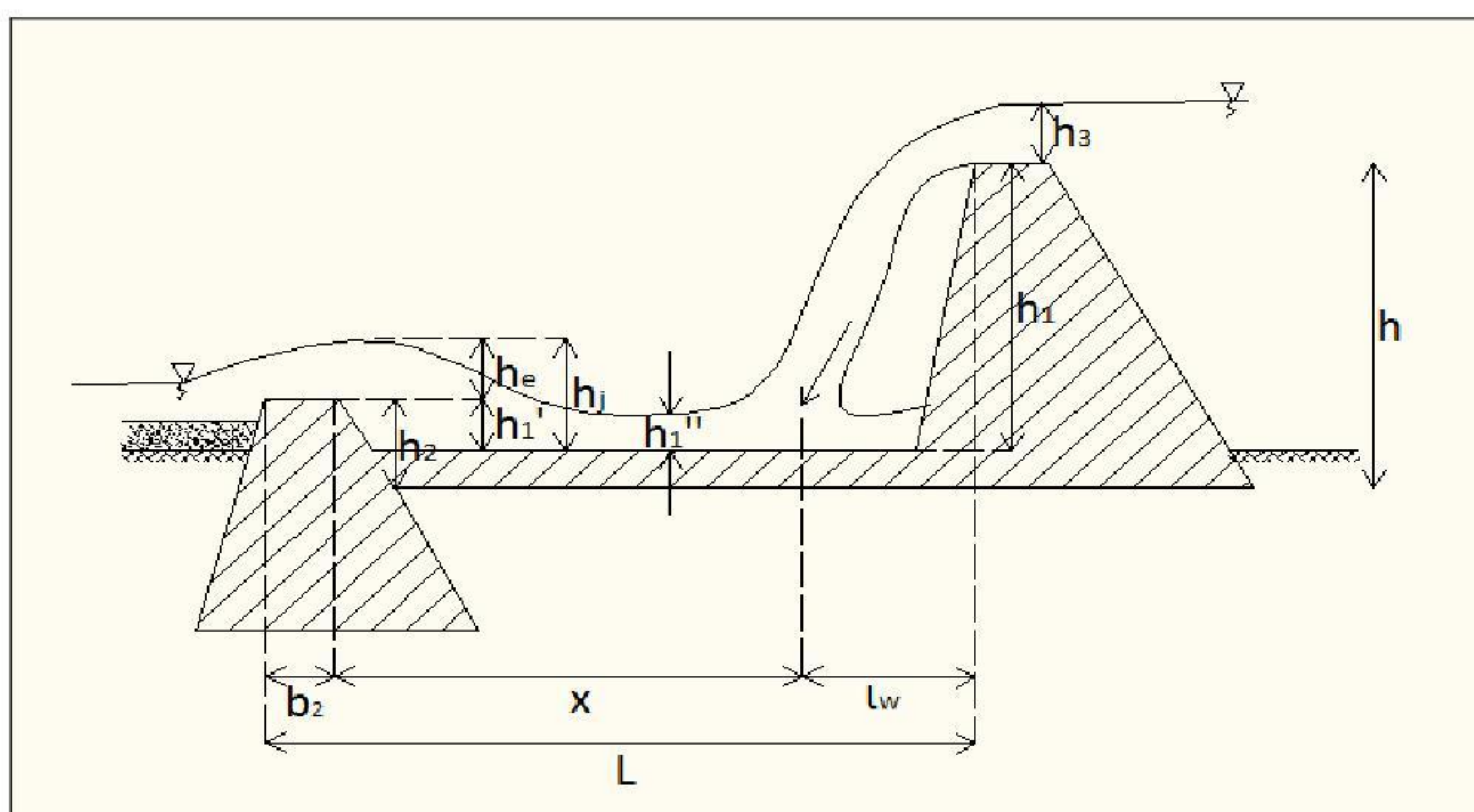
$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g h_1}} \dots\dots\dots (25)$$

$$h_1' = h_j - h_2 \quad \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan:

- b_1 adalah lebar sayap sub bendung (m);
- β adalah koefisien, besarnya antara 4.5 - 5.0;
- F_1 adalah angka *Froude* aliran pada titik terjunan;
- g adalah percepatan gravitasi (m^2/s);
- h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m);
- h_1' adalah tinggi ambang sub bendung (m);
- h_2 adalah tinggi muka air di atas peluap sub bendung (m);
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama (m);
- h_j adalah tinggi loncatan hidraulik (m);
- L adalah jarak bendung utama dan sub bendung (m);
- l_w adalah panjang terjunan dari mercu bendung utama (m);
- q_0 adalah debit per meter pada peluap ($m^3/s/m$);
- q_1 adalah debit aliran tiap meter lebar pada titik jatuh terjunan ($m^3/s/m$);
- v_0 adalah kecepatan aliran di atas pelimpah bendung utama (m/s);
- v_1 adalah kecepatan jatuh pada terjunan (m/s);
- x adalah panjang olakan (m).

(Lihat Gambar 7)



Gambar 7 - Notasi pada bendung utama, kolam olak dan sub bendung

Keterangan :

- b_1 adalah lebar peluap sub bendung;
 h adalah tinggi total bendung utama;
 h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak;
 h_1' adalah tinggi ambang sub bendung;
 h_1'' adalah tinggi air bagian hilir bendung utama;
 H_2 adalah tinggi sub bendung dari dasar lantai kolam olak;
 h_2 adalah tinggi muka air di atas peluap sub bendung;
 h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama;
 h_j adalah tinggi loncatan hidraulik;
 l_w adalah panjang terjunan dari mercu bendung utama;
 L adalah jarak bendung utama dan sub bendung;
 x adalah panjang olakan;
 t adalah tebal lantai kolam olak.

b) rumus empiris

$$L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (h_1 + h_3) \dots\dots\dots (27)$$

Keterangan :

- L adalah jarak bendung utama dan sub bendung (m);
 h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m);
 h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama (m).

(Lihat Gambar 7 dan Gambar 5)

6.1.6 Rumus untuk menentukan tebal lantai kolam olak

a) untuk kolam olak tanpa ambang :

$$t = 0,2 (0,6 h_1 + 3.h_3 - 1,0) \dots\dots\dots (28)$$

Keterangan :

- h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m);
 h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama (m);
 t adalah tebal lantai kolam olak (m).

(Lihat Gambar 7)

b) untuk bendung yang membentuk kolam olak :

$$t = 0,1 (0,6 h_1 + 3.h_3 - 1,0) \dots\dots\dots (29)$$

(Lihat Gambar 6)

Keterangan :

- h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak (m);
 h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama (m);
 t adalah tebal lantai kolam olak (m).

6.2 Pradesain hidraulik

Untuk pra desain hidraulik ini, kerjakan kegiatan dengan urutan sebagai berikut.

- a) Rencanakan lokasi bangunan penahan sedimen sesuai dengan ketentuan subpasal 4.5 butir a) sampai dengan butir d).

- b) Rencanakan sumbu bangunan penahan sedimen sesuai dengan ketentuan subpasal 4.5 butir b).
- c) Rencanakan panjang bangunan penahan sedimen sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.1.
- d) Tentukan debit desain sesuai dengan SNI 03-2415-2004, Tata cara perhitungan debit banjir.
- e) Rencanakan bentuk dan dimensi bendung utama meliputi:
 - 1) Peluap sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.2 butir a).
 - 2) Mercuri peluap sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.2 butir b).
 - 3) Sayap sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.2 butir c).
 - 4) Tubuh sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.2 butir d).
- f) Rencanakan sub bendung sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.3.
- g) Rencanakan kolam olak sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.4.
- h) Rencanakan tinggi bangunan penahan sedimen sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6.2 butir d) dan subpasal 4.6.3 butir c).
- i) Selidiki masalah rembesan dan erosi buluh sesuai dengan rumus (15), (16), dan (17).
- j) Rencanakan bangunan pelengkap sesuai dengan ketentuan subpasal 4.6, subpasal 4.6.5.

6.3 Uji model hidraulik

Untuk lebih meningkatkan keamanan, efektivitas, efisiensi dan keberhasilan tujuan pembuatan bangunan, perlu dilaksanakan uji model hidraulik sebagai berikut.

- a) Uji model hidraulik disarankan untuk dilakukan terhadap pra desain guna:
 - 1) Mendapatkan bentuk dan ukuran hidraulik bangunan air yang mantap.
 - 2) Mempelajari hal-hal seperti berikut.
 - (1) Pola aliran menuju, pada, dan meninggalkan bangunan.
 - (2) Pengaruh muka air hilir terhadap kapasitas pelimpahan.
 - (3) Pola gerusan dan pengendapan.
 - (4) Gejala dan parameter aliran di sungai yang sulit diperoleh dari lapangan, gejala dan parameter aliran pada permukaan struktur.
 - (5) Perubahan gejala dan parameter aliran di sungai akibat adanya bangunan dan sebaliknya.
- b) Uji model hidraulik harus dilakukan oleh satu tim teknik hidraulik yang ahli dan berpengalaman baik dalam bidang uji model hidraulik maupun interpretasi lapangan dan operasi bangunan.

6.4 Desain hidraulik

Desain hidraulik ditentukan dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Desain hidraulik merupakan penyempurnaan desain melalui uji model hidraulik (UMH) fisik terhadap pradesain hidraulik.
- b. Apabila uji model hidraulik tidak dilakukan, maka pra desain hidraulik menjadi desain hidraulik.

6.5 Desain struktur

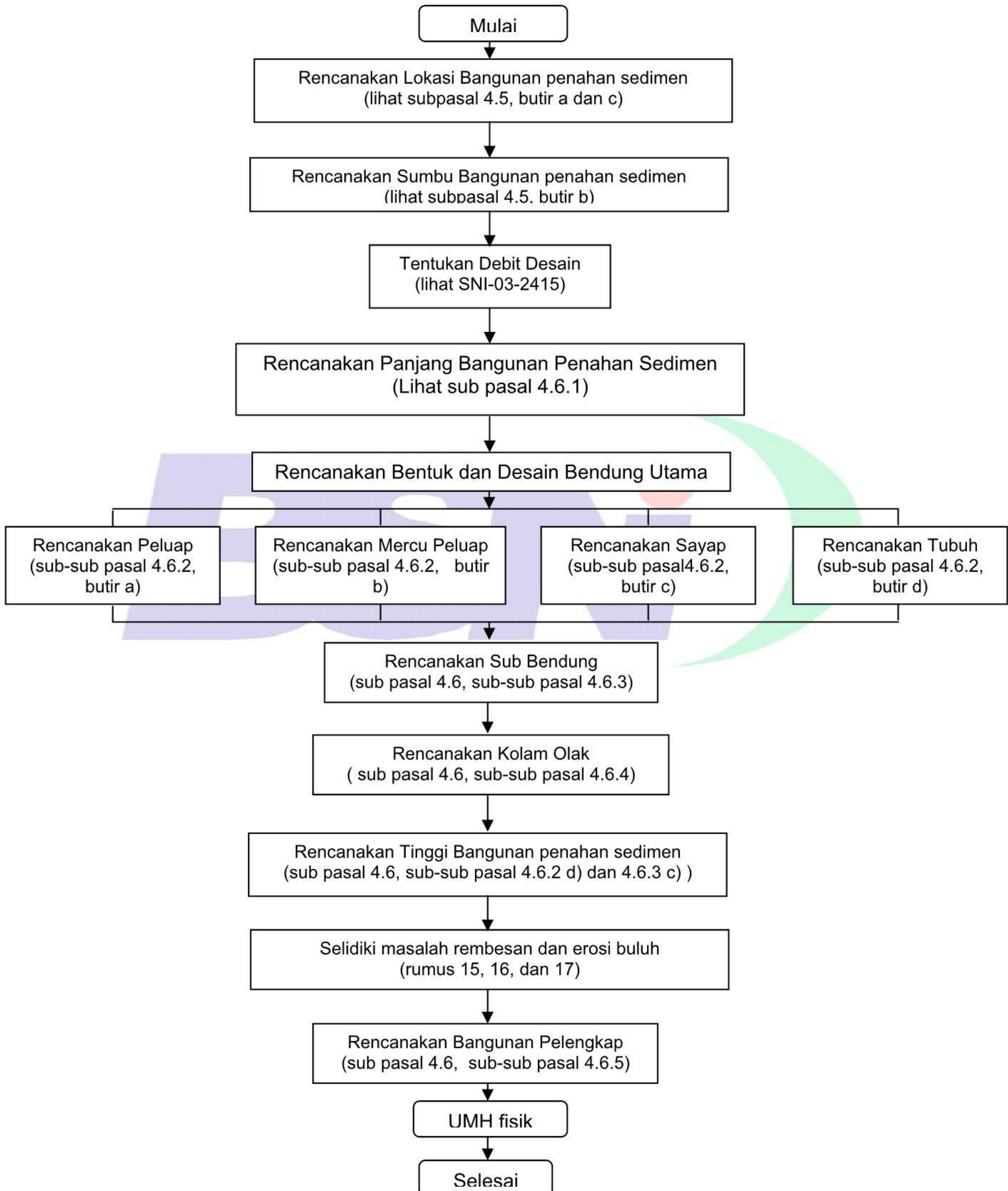
Untuk desain struktur bangunan penahan sedimen, kerjakan kegiatan dengan urutan sebagai berikut.

- a) Rencanakan bentuk dan dimensi bangunan penahan sedimen sesuai dengan ketentuan 4.6, subpasal 4.6.1 sampai dengan 4.6.5.
- b) Tentukan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen sesuai dengan Tabel C.3.
- c) Selidiki stabilitas bangunan penahan sedimen sesuai dengan persyaratan subpasal 5.3 butir a), rumus (5) sampai dengan (15), dan Tabel C.4 sampai dengan Tabel C.9.
- d) Selidiki bagian tembok tepinya berdasarkan gaya-gaya yang bekerja baik berupa tekanan tanah aktif maupun gaya lainnya (lihat Gambar B.7, Lampiran B).

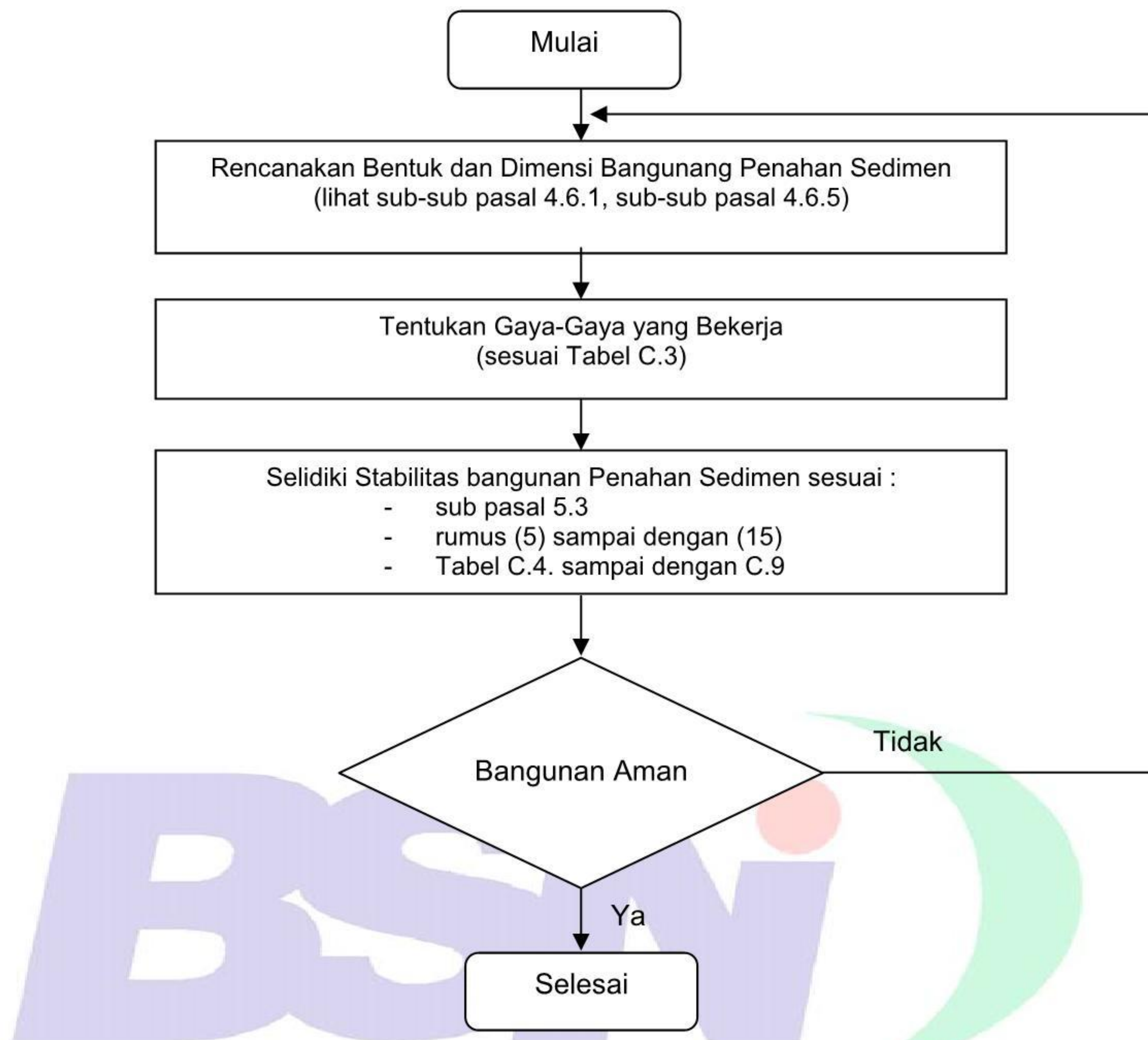


Lampiran A (normatif)

Diagram alir



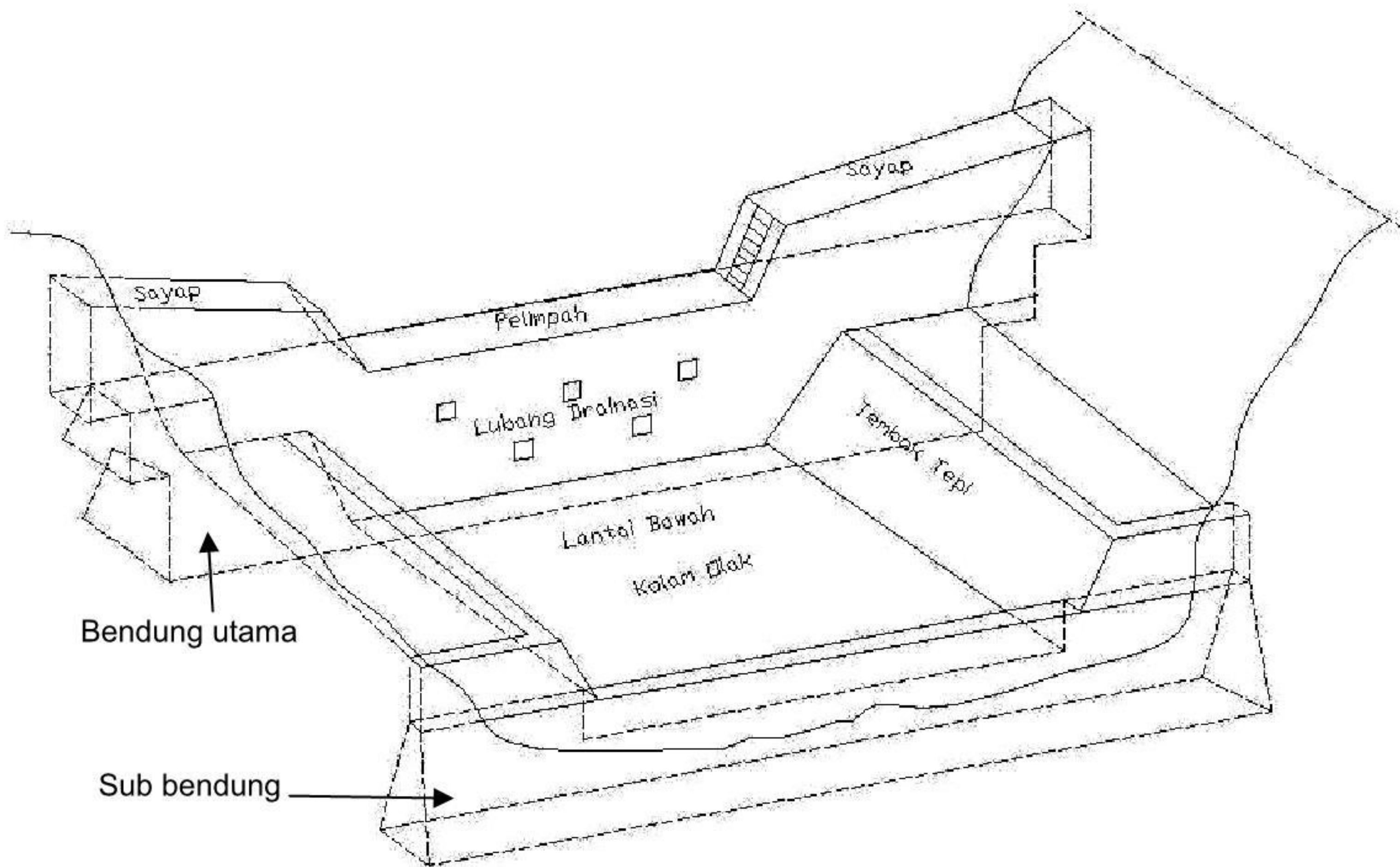
Gambar A.1 - Diagram alir perencana teknik bangunan penahan sedimen (desain hidraulik)



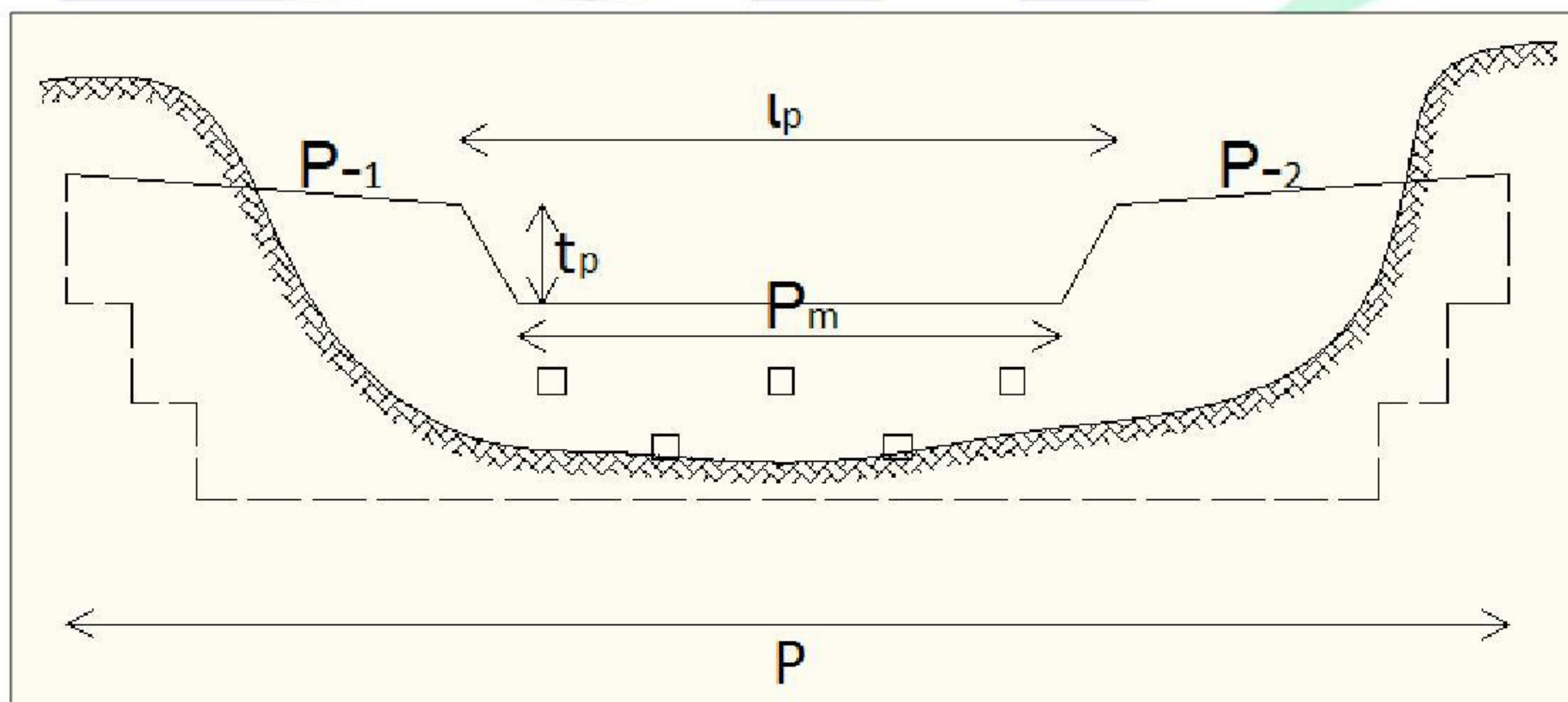
Gambar A.2 - Diagram alir perencana teknik bangunan penahan sedimen (desain struktur)

Lampiran B
(informatif)

Gambar-gambar



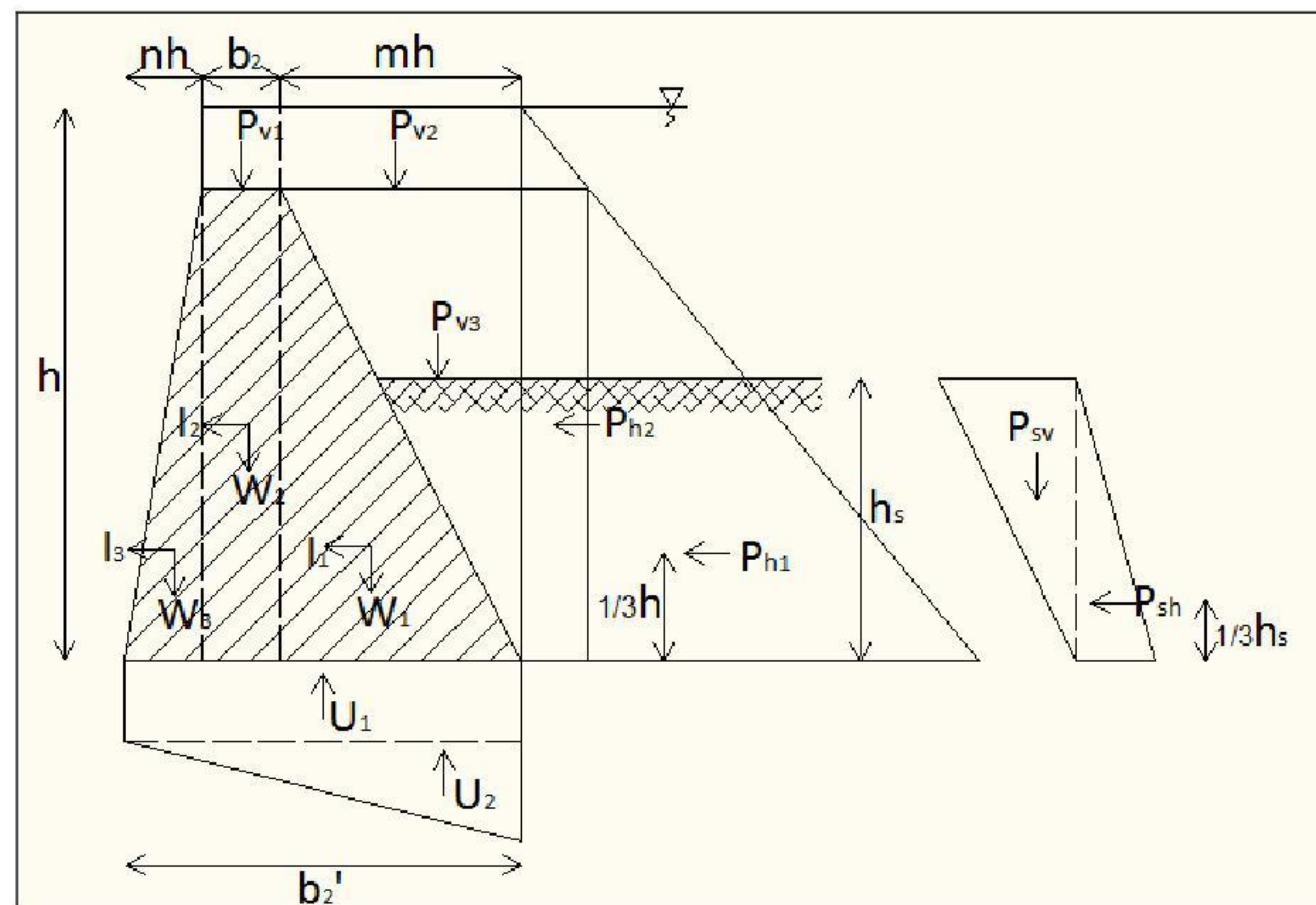
Gambar B.1 - Gambar stereometrik dan istilah-istilah pada bangunan penahan sedimen



Keterangan :

- l_p adalah lebar peluap;
- p adalah panjang bangunan penahan sedimen;
- $p-1$ adalah panjang sayap bangunan penahan sedimen kanan;
- $p-2$ adalah panjang sayap bangunan penahan sedimen kiri;
- p_m adalah panjang mercu bangunan penahan sedimen;
- t_p adalah tinggi peluap (= tinggi peluapan h_3 + tinggi jagaan sesuai Tabel C.1).

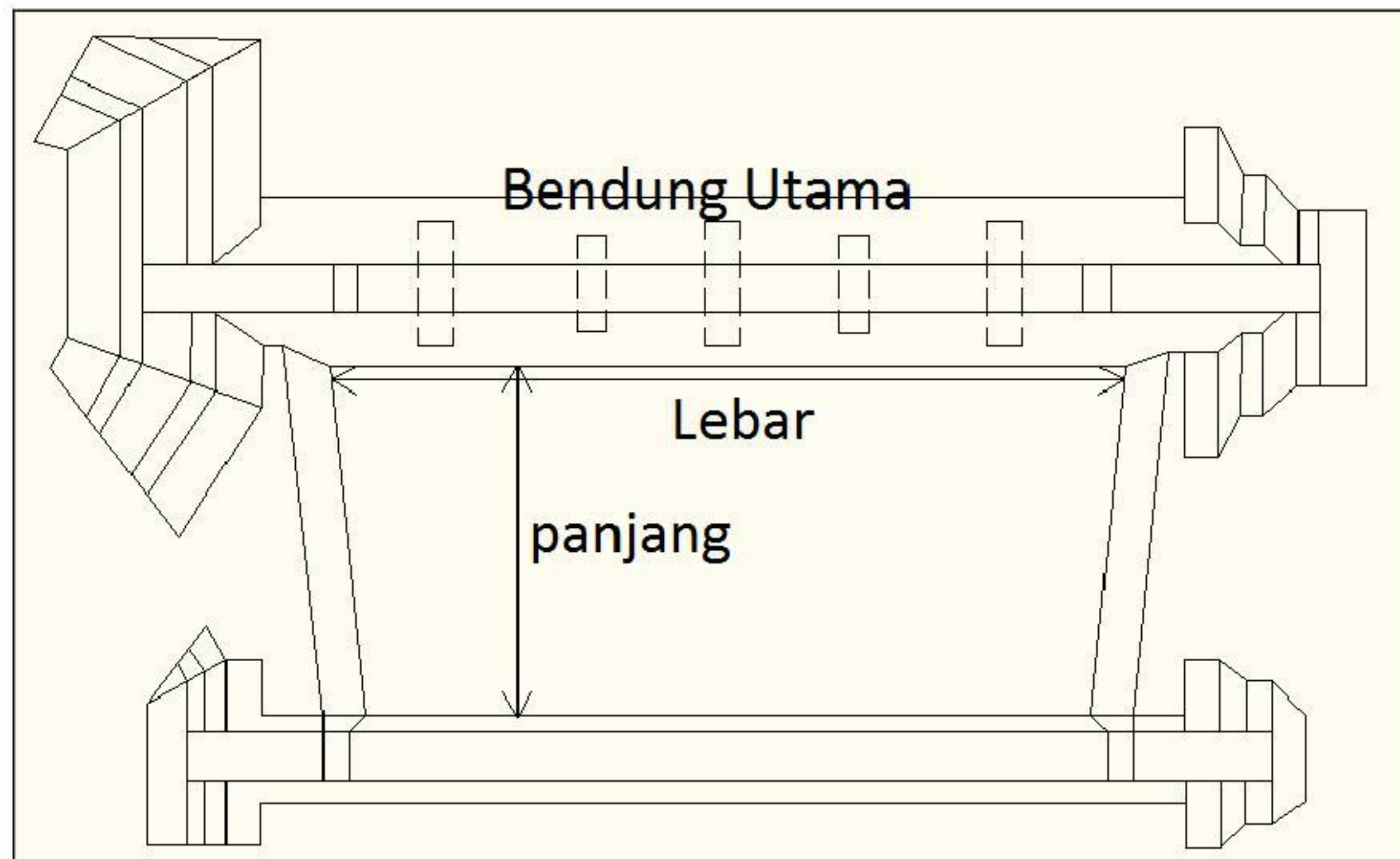
Gambar B.2 - Potongan melintang bangunan penahan sedimen



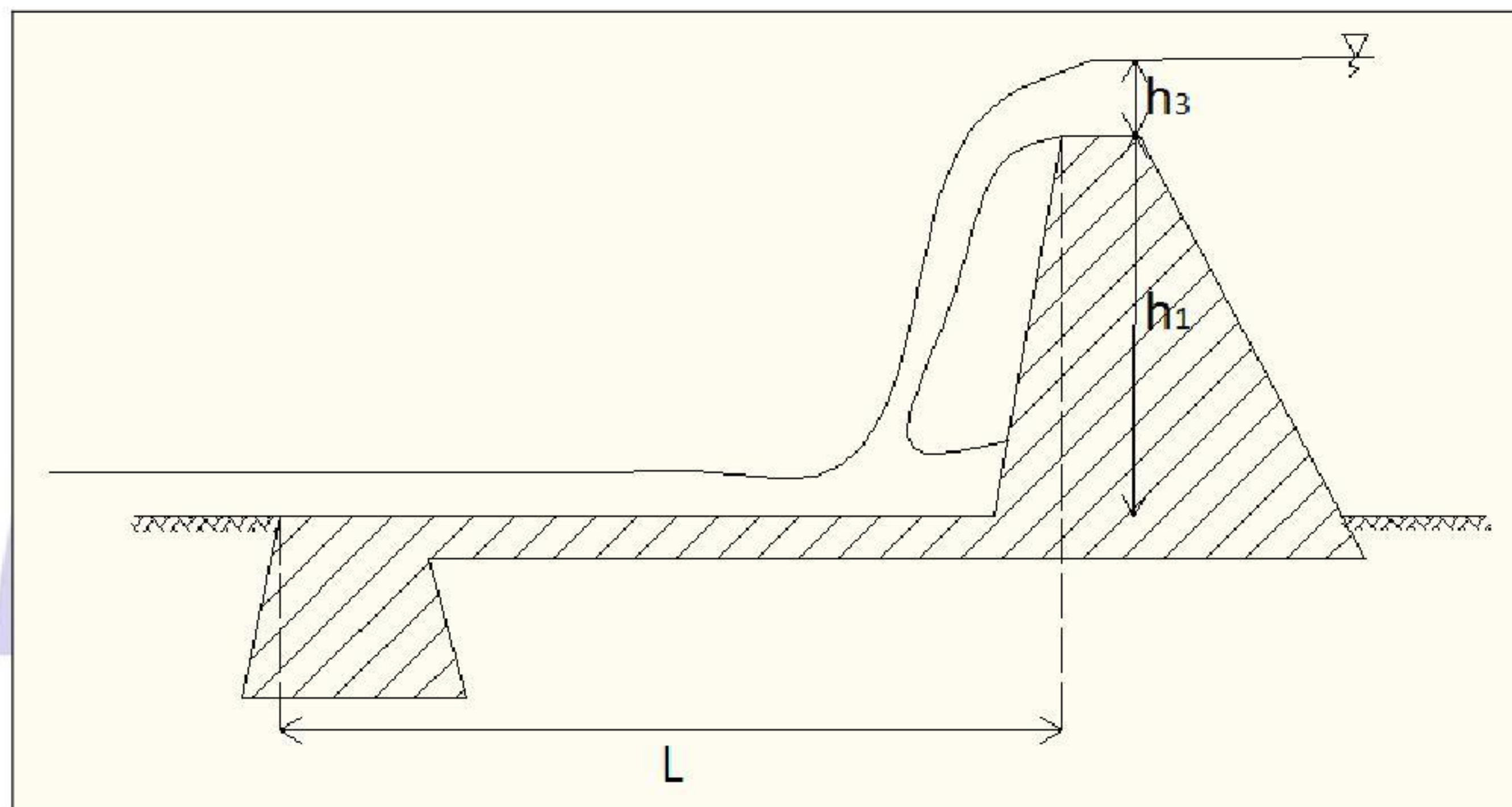
Keterangan :

b_2	adalah lebar sayap bendung utama;
b_2'	adalah lebar dasar bendung utama;
h	adalah tinggi total bendung utama;
h_s	adalah tinggi sedimen;
I_1, I_2, I_3	adalah gaya inersia akibat gempa;
P_{h1}, P_{h2}	adalah tekanan hidrostatik arah horizontal;
P_{sv}	adalah tekanan tanah/sedimen arah vertikal;
P_{sh}	adalah tekanan tanah/sedimen arah horizontal;
P_{v1}, P_{v2}, P_{v3}	adalah tekanan hidrostatik arah vertikal;
U_1, U_2	adalah gaya ke atas (<i>uplift</i>);
W_1, W_2, W_3	adalah gaya akibat berat sendiri.

Gambar B.3 - Gaya-gaya yang bekerja pada bendung pada debit banjir



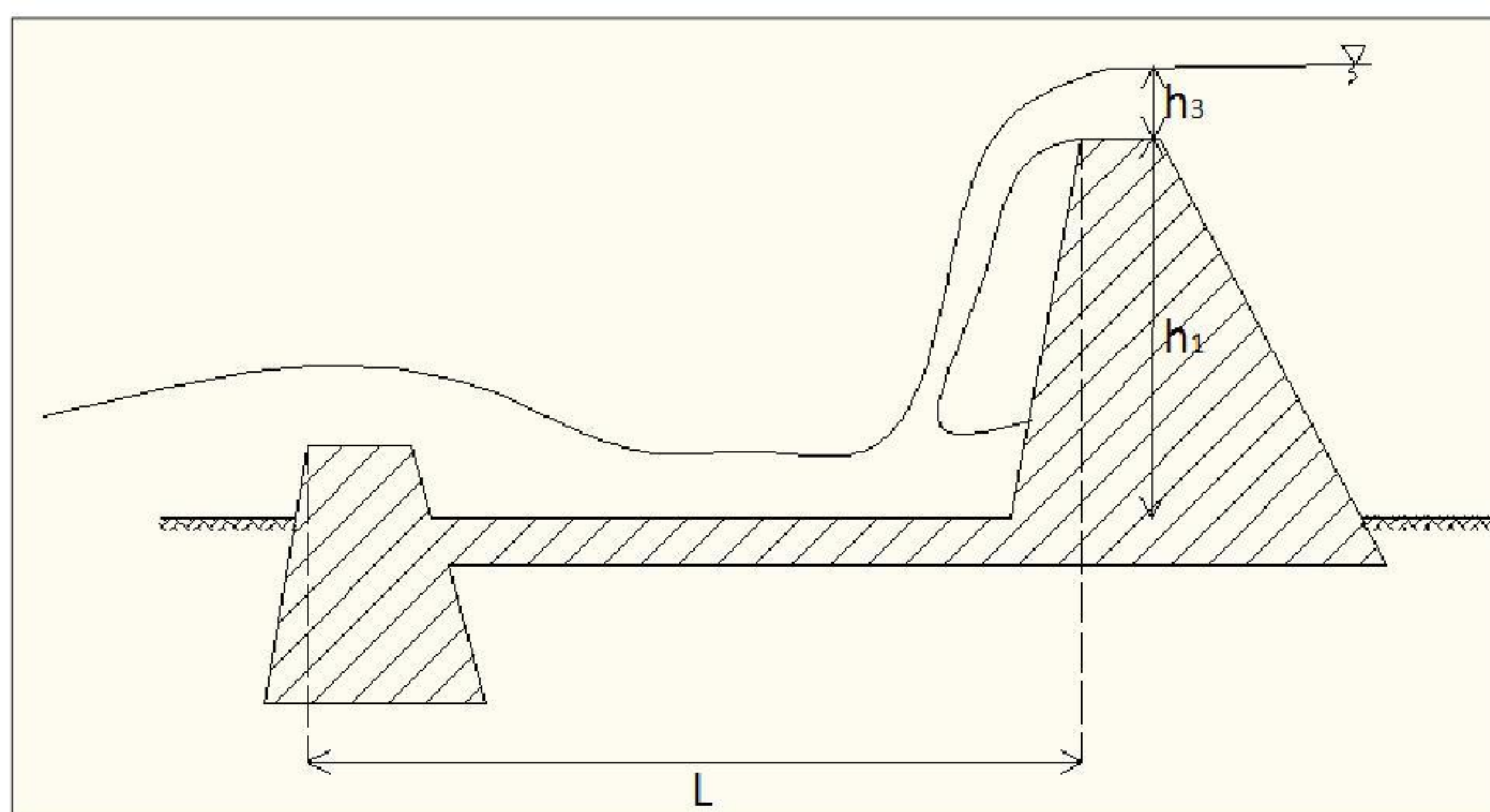
Gambar B.4 - Panjang dan lebar kolam olak



Keterangan :

- h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak;
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama;
- L adalah jarak bendung utama dan sub bendung.

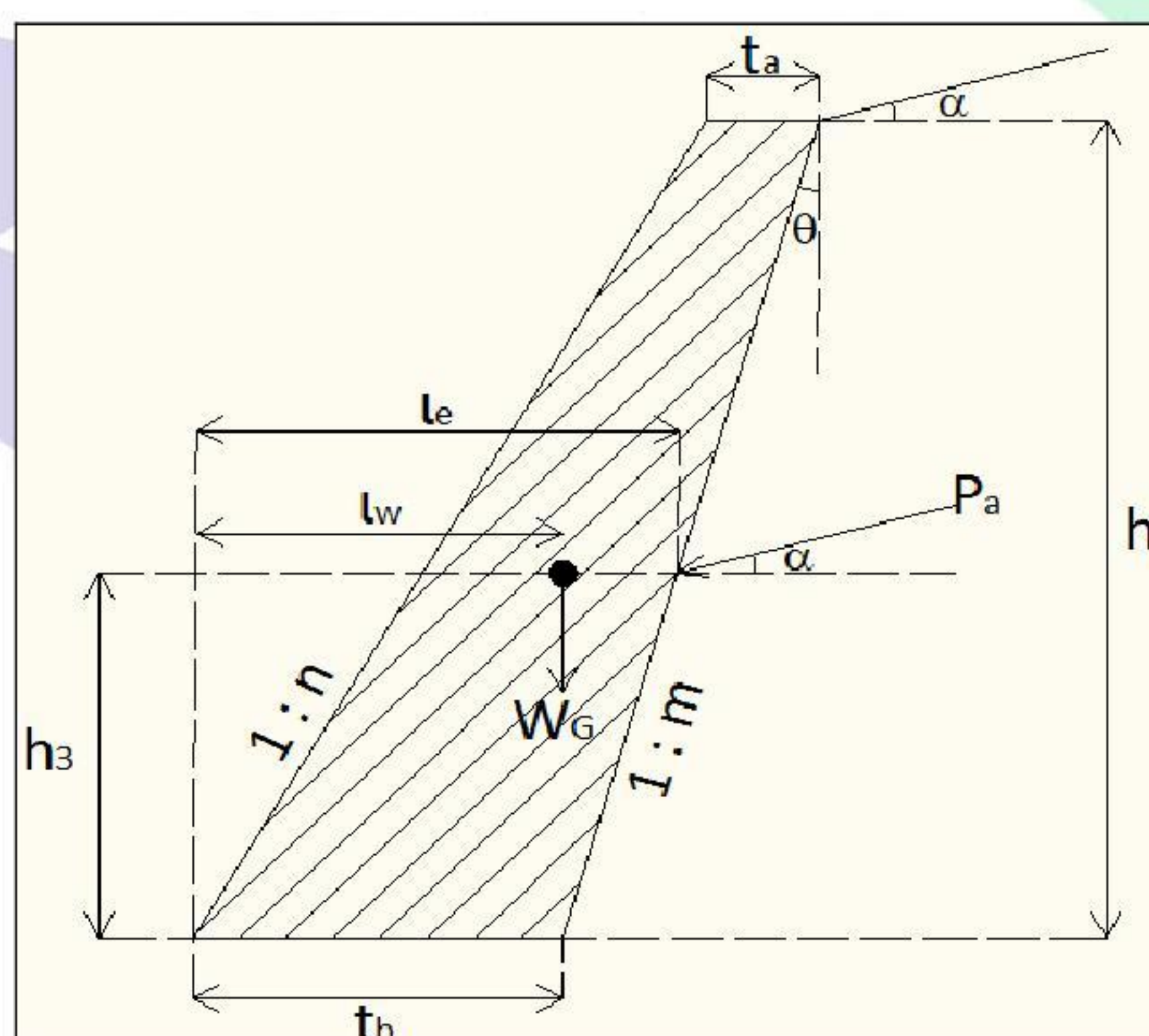
Gambar B.5 - Bangunan penahan sedimen tanpa ambang



Keterangan :

- h_1 adalah tinggi bendung utama dari lantai kolam olak;
- h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama;
- L adalah jarak bendung utama dan sub bendung.

Gambar B.6 - Bangunan penahan sedimen dengan ambang



Keterangan :

- α adalah sudut kemiringan tanah;
- θ adalah sudut kemiringan tembok tepi.
- h adalah tinggi tembok tepi;
- h_w adalah jarak vertikal titik kerja gaya berat terhadap titik O;
- h_e adalah jarak vertikal titik kerja gaya berat terhadap titik O;
- l_w adalah jarak horizontal titik kerja gaya berat terhadap titik O;
- l_e adalah jarak horizontal titik kerja tekanan tanah aktif terhadap titik O;
- P_a adalah tekanan tanah aktif;
- t_a adalah lebar bagian atas tembok tepi;
- t_b adalah lebar bagian dasar tembok tepi;
- W_G adalah gaya berat tembok;
- $1:n$ adalah kemiringan sisi luar tembok tepi;
- $1:m$ adalah kemiringan sisi dalam tembok tepi.

Gambar B.7 - Gaya-gaya yang bekerja pada tembok tepi

Lampiran C (normatif)

Tabel-tabel

Tabel C.1 Tinggi jagaan pada peluap

Debit Desain (m ³ /s)	50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 2000
Tinggi Jagaan (m)	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5

Tabel C.2 Penentuan lebar mercu

Sedimen	Sifat hidraulik aliran	Lebar mercu, b (m)
pasir dan kerikil atau kerikil dan batu-batu kecil	gerakan mandiri (lepas)	1,5 – 2
batu batu besar	gerakan massa (debris flow)	3 – 4

Tabel C.3 Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen

Tinggi bendung	Pada debit normal	Pada debit banjir
< 15 meter	-	1. berat sendiri; 2. tekanan air statik;
≥ 15 meter	1. berat sendiri; 2. tekanan air statik; 3. tekanan tanah sedimen; 4. tekanan air ke atas; 5. tekanan air dinamik; 6. gaya inersia gempa.	1. berat sendiri; 2. tekanan air statik; 3. tekanan tanah (sedimen); 4. tekanan air ke atas;

Tabel C.4 Angka keamanan terhadap geser yang disarankan

Jenis tanah dasar	Angka keamanan, FK	Tinggi bendung
Fondasi apung	1,2	< 15 m
Fondasi apung	1,5	> 15 m

Tabel C.5 Beberapa nilai koefisien geser tanah dasar (sebagai acuan)

Jenis tanah dasar (fondasi)	Koefisien geser
Batuan (<i>base rock</i>)	Keras dengan sedikit retakan
	Keras dengan banyak retakan
	Lunak atau " <i>mudstone</i> "
Lapisan kerikil (<i>gravel layer</i>)	Padat dan kompak
	Kurang padat / tidak kompak
Lapisan berpasir (<i>sandy layer</i>)	Padat dan kompak
	Kurang padat / tidak kompak
Lapisan lempung (<i>clay layer</i>)	Sangat keras
	Keras
CATATAN Untuk penentuan koefisien geser tanah dasar yang lebih akurat sebaiknya dilakukan pengujian di tempat.	

Tabel C.6 Nilai C_c dan C_w untuk menentukan panjang lintasan kritis

Material tanah dasar	C_c	C_w
Lumpur atau pasir sangat halus	18,0	8,5
Pasir halus	15,0	7,0
Pasir	-	6,0
Pasir kasar	12,0	5,0
Kerikil halus	-	4,0
Kerikil	-	3,5
Campuran pasir dan kerikil	9,0	-
Kerikil kasar tercampur kerakal	4,0 – 6,0	3,0
Kerakal dan batu-batu besar	-	2,5

Tabel C.7 Contoh gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen tinggi < 15 meter (keadaan normal dan banjir)

Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Berat sendiri	W					
	W_1	$\frac{1}{2} \gamma_c m h^2$	+		$\frac{2}{3}mh$	+
	W_2	$\gamma_c b_2 h$	+		$mh + \frac{1}{2}b_2$	+
	W_3	$\frac{1}{2} \gamma_c n h^2$	+		$mh + b_1 + \frac{1}{3}nh$	+
Tekanan air statik	P					
	P_{v1}	$\frac{1}{2} \gamma_w m h^2$	+		$\frac{1}{3}mh$	+
	P_{v2}	$\gamma_w m h h_3$	+		$\frac{1}{2}mh$	+
	P_{v3}	$\gamma_w b_2 h_3$	+		$mh + \frac{1}{2}b_2$	+
	P_{h1}	$\frac{1}{2} \gamma_w h^2$		+	$\frac{1}{3}h$	-
	P_{h2}	$\gamma_w h_3 h$		+	$\frac{1}{2}h$	-
<p>Keterangan :</p> <p>b_2 adalah lebar sayap bendung utama;</p> <p>γ_c adalah berat volume tubuh bangunan penahan sedimen;</p> <p>γ_w adalah berat volume air;</p> <p>h adalah tinggi total bendung utama;</p> <p>h_3 adalah tinggi muka air di atas peluap bendung utama;</p> <p>m adalah kemiringan tubuh bendung bagian hulu;</p> <p>n adalah kemiringan tubuh bendung bagian hilir.</p> <p>CATATAN lengan momen diperhitungkan terhadap titik penggulingan depan (titik A pada Gambar 4, 6 dan 7).</p>						

Tabel C.8 Contoh gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen tinggi ≥ 15 meter (keadaan normal)

Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen		
Berat sendiri	W W ₁ W ₂ W ₃	$\frac{1}{2} \gamma_c m h^2$ $\gamma_c b_2 h$ $\frac{1}{2} \gamma_c n h^2$	+		$\frac{2}{3}mh$ $mH + \frac{1}{2}b_2$ $mH + b_2 + \frac{1}{3}nh$	+	+	+
Tekanan air statik	P P _v P _h	$\frac{1}{2} \gamma_w m h^2$ $\frac{1}{2} \gamma_w h^2$	+		$\frac{1}{3}mh$ $\frac{1}{3}h$		+	-
Tekanan tanah / sedimen	P _s P _{sv} P _{sh}	$\frac{1}{2} \gamma_s m h_s^2$ $\frac{1}{2} C_s \gamma_s h_s^2$	+		$\frac{1}{3}mh_s$ $\frac{1}{3}h_s$		+	-
Gaya ke atas	U U ₁ U ₂	$\frac{1}{2} \gamma_w \mu b_2' (h-h_1)$ $\gamma_w b_2' h_1$	-		$\frac{1}{3}b_2'$ $\frac{1}{2}b_2'$		-	-
Gaya inersia karena gempa	I I ₁ I ₂ I ₃	$\frac{1}{2} C_s \gamma_c m h^2$ $C_s \gamma_w .b_2' h$ $\frac{1}{2} C_s \gamma_c n h^2$			$\frac{1}{3}h$ $\frac{1}{2}h$ $\frac{1}{3}h$		+	-
Tekanan air dinamik	P _d P _{dv} P _{dh}	$\frac{1}{2} \eta C_m C_s \gamma_w m h^2$ $\frac{1}{2} \eta C_m K \gamma_w h^2$	+		λmh λh		+	-
Keterangan :								
b ₁	adalah	lebar sayap sub bendung;						
b ₂ '	adalah	lebar dasar bendung utama;						
γ _c	adalah	berat volume tubuh bangunan penahan sedimen;						
γ _s	adalah	berat volume sedimen;						
γ _w	adalah	berat volume air;						
C _m	adalah	koefisien tekanan air dinamik pada saat gempa bumi, besarnya ditentukan dengan grafik pada Gambar 5 untuk gambar (a) dan (b).						
C _s	adalah	koefisien tanah endapan, besarnya antara 0,3 - 0,6 sesuai dengan sudut geser dalam;						
h	adalah	tinggi total bendung utama;						
h ₁	adalah	tinggi bendung utama dari lantai kolam olak;						
h ₃	adalah	tinggi muka air di atas peluap bendung utama;						
h _s	adalah	tinggi sedimen dari dasar bendung utama;						
C _s	adalah	koefisien respon seismik (dapat dilihat pada SNI 1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung);						
λ, η	adalah	koefisien tekanan air dinamik						
μ	adalah	koefisien tekanan air ke atas besarnya 0,3 - 1,0 (dalam praktek diambil 0,33);						
m	adalah	kemiringan tubuh bendung bagian hulu;						
n	adalah	kemiringan tubuh bendung bagian hilir;						

Tabel C.9 Contoh gaya-gaya yang bekerja pada bangunan penahan sedimen tinggi ≥ 15 meter (keadaan banjir)

Beban	Notasi	Gaya	V	H	Lengan	Momen
Berat sendiri	W W ₁ W ₂ W ₃	$\frac{1}{2} \gamma_c m h^2$ $\gamma_c b_2 h$ $\frac{1}{2} \gamma_c n h h^2$	 + + +		$\frac{2}{3}mh$ $mh + \frac{1}{2}b_2$ $mh + b_2 + \frac{1}{3}nh$	 + + +
Tekanan air statik	P P _{v1} P _{v2} P _{v3} P _{h1} P _{h2}	$\frac{1}{2} \gamma_w m h^2$ $\gamma_w m h h_3$ $\gamma_w b_2 h_3$ $\frac{1}{2} \gamma_w h^2$ $\gamma_w h_3 h$	 + + +	 + +	$\frac{1}{3}mh$ $\frac{1}{2}mh$ $mH + \frac{1}{2}.b_2$ $\frac{1}{3}h$ $\frac{1}{2}h$	 + + + - -
Tekanan tanah / sedimen	P _s P _{sv} P _{sh}	$\frac{1}{2} \gamma_s m h_s^2$ $\frac{1}{2} C_s \gamma_s h_s^2$	 + 	 +	$\frac{1}{3}mh_s$ $\frac{1}{3}h_s$	 + -
Gaya ke atas	U U ₁ U ₂	$\frac{1}{2} \gamma_w \mu b_2 (h+h_3-h_1'')$ $\gamma_w b_2'h_1''$	 - -		$\frac{1}{3}b_2'$ $\frac{1}{2}b_2'$	 - -
Keterangan :						
b ₁	adalah	lebar sayap sub bendung;				
b ₂ ''	adalah	lebar dasar bendung utama;				
γ _c	adalah	berat volume tubuh bangunan penahan sedimen;				
γ _s	adalah	berat volume sedimen;				
γ _w	adalah	berat volume air;				
C _s	adalah	koefisien tanah endapan, besarnya antara 0,3 - 0,6 sesuai dengan sudut geser dalam.				
h	adalah	tinggi total bendung utama;				
h ₁ ''	adalah	tinggi muka air di hilir bendung utama;				
h ₃	adalah	tinggi muka air di atas peluap bendung utama;				
h _s	adalah	tinggi sedimen dari dasar bendung utama;				
μ	adalah	koefisien tekanan air ke atas besarnya 0,3 - 1,0 (dalam praktek diambil 0,33);				
m	adalah	kemiringan tubuh bendung bagian hulu;				
n	adalah	kemiringan tubuh bendung bagian hilir;				

Lampiran D (informatif)

Contoh perhitungan

D.1 Perhitungan untuk tinggi bendung utama < 15 m

Sebuah bangunan penahan sedimen akan dibangun pada alur sungai untuk menahan aliran sedimen konsentrasi tinggi. Dengan data-data sebagai berikut :

Kemiringan dasar sungai, I	=	0,03
Lebar sungai, B	=	50 m
Lebar dasar peluap, B_1	=	30 m
Tinggi total bendung utama, h	=	7 m
Tinggi sedimen, h_s	=	3 m
Debit banjir, Q_p	=	100 m ³ /s
Konsentrasi sedimen, α	=	0,02
Berat isi beton, γ_c	=	2,3 ton/m ³ = 22,54 kN/m ³
Berat isi sedimen, γ_s	=	1,5 ton/m ³ = 14,7 kN/m ³
Berat isi air, γ_w	=	1,0 ton/m ³ = 9,80 kN/m ³

Debit desain dihitung berdasarkan rumus berikut.

$$Q_d = (1 + \alpha) \times Q_p = (1 + 0,02) \times 100 = 102,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

a) Perhitungan dimensi peluap

Dengan menggunakan rumus (2) :

$$Q_d = \frac{2}{15} C \sqrt{2g} [3B_1 + 2B_2] h_3^{3/2}$$

bila $C = 0,60$ dan $m_2 = 0,50$, maka:

$$Q_d = [0,71h_3 + 1,77B_1] h_3^{3/2}$$

$$102,00 = [0,71h_3 + 1,77 \times 30] h_3^{3/2}$$

$$102,00 = 0,71h_3^{3/2} + 53,10h_3^{3/2}$$

nilai h_3 dapat diperoleh dengan cara *trial and error*.

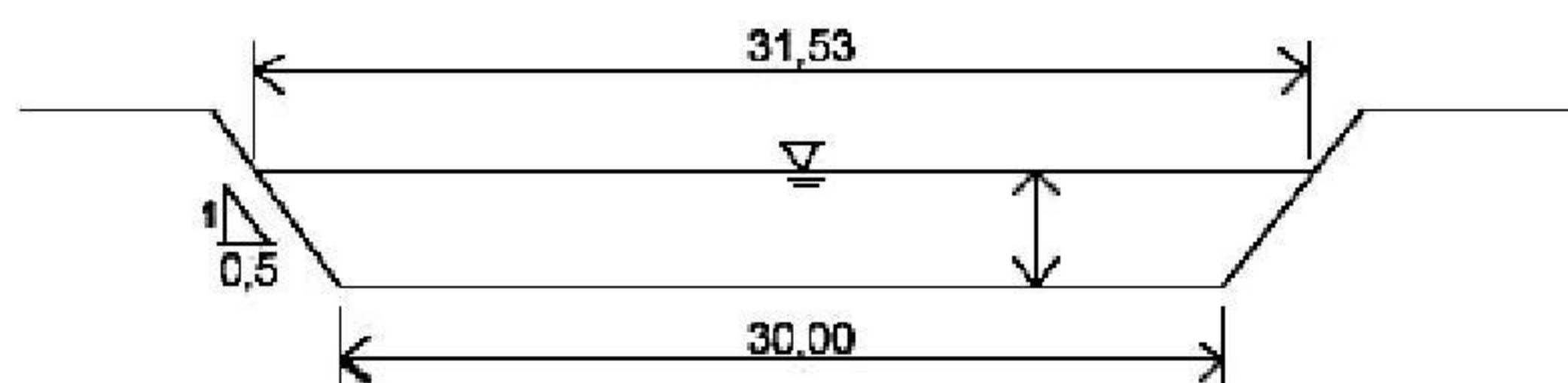
Misalkan $h_3 = 1,53$,

$$Q_d = 0,71 \times 1,53^{3/2} + 53,10 \times 1,53^{3/2}$$

$$Q_d = 102,54 \approx 102,00$$

maka diambil $h_3 = 1,53$ m.

Tinggi jagaan diambil, $F = 1,00$ m (Tabel C.1)



b) Perhitungan lebar mercu peluap

Untuk menentukan lebar mercu peluap bangunan penahan sedimen diambil dari Tabel C.2 dengan mempertimbangkan jenis sedimen dan sifat hidraulik alirannya.

Untuk kondisi sedimen berupa pasir dan kerikil dimana alirannya merupakan gerakan mandiri maka lebar mercu diambil, $b_2 = 2,00$ m.

c) Perhitungan kemiringan tubuh bendung utama

Kemiringan bagian hulu (untuk tinggi bangunan penahan sedimen ≤ 15 m) dihitung dengan menggunakan persamaan (3):

$$(1 + \alpha)m^2 + [2(n + \beta) + n(4\alpha + \gamma) + 2 \cdot \alpha \cdot \beta]m - (1 + 3\alpha) + \alpha\beta(4n + \beta) + \gamma(3n\beta + \beta^2 + n^2) = 0$$

Dimana :

$n = 0,2$ (supaya aliran tidak menyusur permukaan bendung bagian hilir/aman terhadap benturan batuan yang jatuh)

$$\alpha = (h_3 + F)/h = 0,361$$

$$\beta = b_2/h = 0,286$$

$$\gamma = \gamma_c/\gamma_w = 2,3$$

sehingga persamaan menjadi:

$$(1 + 0,361)m^2 + [2(0,2 + 0,286) + 0,2(4 \cdot 0,361 + 2,3) + 2 \cdot 0,361 \cdot 0,286]m - (1 + 3 \cdot 0,361) + 0,361 \cdot 0,286(4 \cdot 0,2 + 0,286) + 2,3(3 \cdot 0,2 \cdot 0,286 + 0,286^2 + 0,2^2) = 0$$

$$1,361m^2 + 1,927m - 1,298 = 0$$

$$m = 0,5$$

maka diambil $m = 0,5$.

d) Perhitungan dimensi kolam olak

Panjang lantai kolam olak (L) dihitung berdasarkan persamaan hidraulik dengan rumus (15) sampai (23):

$$L = b_1 + x + l_w$$

Lebar mercu sub bendung diambil, $b_1 = 1,50$ m.

$$x = \beta h_j$$

$$h_j = \frac{h_1''}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right]$$

$$h_1'' = \frac{q_1}{h_3} = \frac{102,00/31,53}{1,53} = 2,11 \text{ m}$$

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1''}}$$

$$V_1 = \sqrt{2g(h_1'' + h_3)} = \sqrt{2 \cdot 9,8(2,11 + 1,53)} = 8,45 \text{ m/s}$$

$$F_1 = \frac{8,45}{\sqrt{9,8 \cdot 2,11}} = 1,86$$

$$h_j = \frac{2,11}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \cdot 1,86^2} - 1 \right] = 4,59 \text{ m}$$

$$x = 4,50 \cdot 4,59 = 20,67 \text{ m}$$

$$I_w = V_0 \left[\frac{2(h_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \frac{q_0}{h_3} = \frac{102,00/30,00}{1,53} = 2,22 \text{ m/s}$$

Tebal lantai kolam olak (t) dan tinggi efektif bendung (H_1) dihitung menggunakan rumus (26):

$$t = 0,1 (0,6 h_1 + 3h_3 - 1,0)$$

sedangkan $h_1 = h - t$, maka :

$$t = 0,1 (0,6 (h - t) + 3 \cdot h_3 - 1,0)$$

$$t = 0,1 (0,6 (7 - t) + 3 \cdot 1,53 - 1,0)$$

$$t = 0,779 - 0,06 \cdot t$$

$$t = 0,73 \text{ m} \approx 1,00 \text{ m}$$

$$h_1 = 7,00 - 1,00 = 6,00 \text{ m}$$

$$I_w = 2,22 \left[\frac{2(6,00 + \frac{1}{2} \cdot 1,53)}{9,8} \right]^{\frac{1}{2}} = 2,61 \text{ m}$$

$$L = 1,50 + 20,67 + 2,61 = 24,78 \text{ m} \approx 25,00 \text{ m}$$

Dengan rumus empiris (24):

$$L = (1,5 \text{ s/d } 2,0) \times (h_1 + h_3)$$

$$L = 1,75 \times (6,00 + 1,53)$$

$$L = 13,18 \text{ m} \approx 13,50 \text{ m}$$

Diambil panjang kolam olak, $L = 25,00 \text{ m}$.

e) Perhitungan dimensi tubuh sub bendung

Tinggi sub bendung dihitung dengan rumus empiris (1):

$$h_2 = \left(\frac{1}{3} \text{ s/d } \frac{1}{4} \right) \times h$$

$$h_2 = \frac{1}{3} \times h = \frac{1}{3} \times 7 = 2,33 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{1}{4} \times h = \frac{1}{4} \times 7 = 1,75 \text{ m}$$

Ambil $h_2 = 2,00$

Tinggi ambang sub bendung:

$$h_1' = h_2 - t$$

$$h_1' = 2,00 - 1,00$$

$$h_1' = 1,00 \text{ m}$$

f) Perhitungan stabilitas bendung (keadaan normal dan banjir)

Dari perhitungan sebelumnya:

$$m = 0,5$$

$$n = 0,2$$

$$b_2' = mh + nh + b_2$$

$$b_2' = 0,5 \cdot 7 + 0,2 \cdot 7 + 2,00$$

$$b_2' = 3,50 + 1,40 + 2,00$$

$$b_2' = 6,90 \text{ m}$$

Gaya-gaya yang bekerja:

Berat sendiri:

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma_c m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 0,5 \cdot 7^2 = 28,18 \text{ ton/m} = 276,164 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = \gamma_c b_2 h = 2,3 \cdot 2,00 \cdot 7 = 32,20 \text{ ton/m} = 315,56 \text{ kN/m}$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \gamma_c n h^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 0,2 \cdot 7^2 = 11,27 \text{ ton/m} = 110,446 \text{ kN/m}$$

Tekanan air statik:

$$P_v = \frac{1}{2} \gamma_w m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 7^2 = 12,25 \text{ ton/m} = 120,05 \text{ kN/m}$$

$$P_h = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 7^2 = 24,50 \text{ ton/m} = 240,10 \text{ kN/m}$$

Panjang lengan dari gaya-gaya yang bekerja terhadap titik A:

Berat sendiri:

$$L_{W1} = \frac{2}{3} m h = \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 7 = 2,33 \text{ m}$$

$$L_{W2} = m h + \frac{1}{2} b_1 = 0,5 \cdot 7 + \frac{1}{2} \cdot 2,00 = 4,50 \text{ m}$$

$$L_{W3} = m h + b_1 + \frac{1}{3} n h = 0,5 \cdot 7 + 2,00 + \frac{1}{3} \cdot 0,2 \cdot 7 = 5,97 \text{ m}$$

Tekanan air statik:

$$L_{Pv} = \frac{1}{3} m h = \frac{1}{3} \cdot 0,5 \cdot 7 = 1,17 \text{ m}$$

$$L_{Ph} = \frac{1}{3} h = \frac{1}{3} \cdot 7 = 2,33 \text{ m}$$

Perhitungan momen untuk keadaan normal dan banjir:

Beban	Notasi	Gaya Vertikal (ton/m)	Gaya Horizontal (ton/m)	Lengan (m)	Momen Penahan (ton.m/m)	Momen Penguling (ton.m/m)
Berat sendiri	W					
	W ₁	28,18		2,33	65,74	
	W ₂	32,20		4,50	144,90	
	W ₃	11,27		5,97	67,24	
Tekanan air statik	P					
	P _v	12,25		1,17	14,29	
	P _h		24,50	2,33		-57,17
Σ		83,90	24,50		292,18	-57,17

- 1) Stabilitas terhadap penggulingan
Dengan menggunakan rumus (5):

$$FK_{\text{guling}} = \frac{\sum M_{VA}}{\sum M_{HA}} = \frac{292,18}{57,17} = 5,11 > 1,5 \text{ (OK)}$$

2) Stabilitas terhadap geser

Dengan menggunakan rumus (11):

$$FK_{\text{geser}} = \frac{\sum V \tan \phi + c b_2'}{\sum H}$$

Dari Tabel C.5, diambil $f = 0,7 \rightarrow \tan \phi = f$

$$FK_{\text{geser}} = \frac{83,90 \cdot 0,7 + 0 \cdot 6,90}{24,50} = 2,40 > 1,5 \text{ (OK)}$$

3) Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi

Dengan menggunakan rumus (10).

Tekanan tanah normal maksimum:

$$\sigma_1 = \frac{\sum V}{b_2'} \left[1 + \frac{6e}{b_2'} \right]$$

Tekanan tanah normal minimum:

$$\sigma_2 = \frac{\sum V}{b_2'} \left[1 - \frac{6e}{b_2'} \right]$$

Eksentrisitas resultan gaya:

$$e = \frac{b_2'}{2} - X$$

$$X = \frac{\sum M}{\sum V}$$

$$X = \frac{292,18 - 57,17}{83,90} = 2,80 \text{ m}$$

$$e = \frac{6,90}{2} - 2,80 = 0,65 \text{ m}$$

Tekanan tanah normal maksimum:

$$\sigma \sigma_1 = \frac{83,90}{6,90} \left[1 + \frac{6 \cdot 0,65}{6,90} \right] = 19,02 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

Tekanan tanah normal minimum:

$$\sigma \sigma_2 = \frac{83,90}{6,90} \left[1 - \frac{6 \cdot 0,65}{6,90} \right] = 5,30 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

g) Perhitungan panjang lintasan kritis

Dengan menggunakan rumus (13):

$$C_c = \frac{\ell + 2d}{\Delta H}$$

Dari Tabel C.6 nilai batasan untuk C_c dengan karakter material campuran pasir dan kerikil adalah 9.

Panjang lintasan kritis arah horizontal, $\ell = 31,10 \text{ m}$.

Panjang lintasan kritis arah vertikal, $d = 11,89 \text{ m}$.

Selisih tinggi muka air, $\Delta H = H + h_3 - h_1 = 7 + 1,53 - 2,11 = 6,41 \text{ m}$.

Sehingga diperoleh :

$$C_c = \frac{31,10 + 2 \cdot 11,89}{6,41} = 5,11 < 9 \text{ (OK)}$$

h) Perhitungan stabilitas tembok tepi

Tinggi tembok tepi, $h = t + h_j + F = 1,00 + 4,59 + 1,00 = 6,59 \text{ m} \approx 7,00 \text{ m}$

Karena $h > 3 \text{ m}$, maka tembok tepi dibuat bertingkat (bertrap) dengan pembagian sebagai berikut.

Trap 1 : $h_1 = 4 \text{ m}$

Trap 2 : $h_2 = 3 \text{ m}$

Dengan asumsi desain trap 1 dan 2 sama dan pertimbangan $h_1 > h_2$ maka dalam perhitungan stabilitas tembok tepi ini cukup dihitung trap 1 saja.

$\phi = 35^\circ$ (pasir)

$\delta = 2/3\phi = 2/3 \cdot 35^\circ = 23,33^\circ$

$t_a = 0,35 \text{ m}$

$\alpha = 0^\circ$

$m = 0,20$

$n = 0,25$

$t_b = t_a + n \cdot h - m \cdot h$

$t_b = 0,35 + 0,25 \cdot 4 - 0,2 \cdot 4,00$

$t_b = 0,55 \text{ m}$

Gaya-gaya yang bekerja:

Berat sendiri:

$$W_G = \frac{h}{2} (t_a + t_b) \gamma_c$$

$$W_G = \frac{4}{2} (0,35 + 0,55) \cdot 2,3$$

$$W_G = 4,14 \text{ ton/m}$$

Berat tanah:

$$W_s = \frac{1}{2} m \gamma_s h^2$$

$$W_s = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 1,50 \cdot 4,00^2$$

$$W_s = 2,40 \text{ ton/m}$$

Tekanan tanah aktif:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_s h^2$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\theta + \delta) \cdot \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)} \right\}^2}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(35 - (-8,53))}{\cos^2(-8,53) \cos(-8,53 + 23,33) \cdot \left\{ 1 + \frac{\sin(35 + 23,33) \sin(35 - 0)}{\cos(-8,53 + 23,33) \cos(-8,53 - 0)} \right\}^2}$$

$$K_a = 0,173$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot 0,173 \cdot 1,5 \cdot 4,00^2$$

$$P_a = 2,076 \text{ ton/m}$$

$$P_{aV} = P_a \sin \delta$$

$$P_{aV} = 2,076 \cos 23,333 = 0,82 \text{ ton/m}$$

$$P_{aH} = P_a \cos \delta$$

$$P_{aH} = 2,076 \cos 23,333 = 1,90 \text{ ton/m}$$

Panjang lengan gaya-gaya yang bekerja terhadap titik O :

Berat sendiri:

$$L_w = \left\{ \frac{t_b^2 + t_b t_a + t_a^2}{3(t_b + t_a)} \right\} + \frac{nh}{3} \left\{ \frac{t_b + 2t_a}{t_b + t_a} \right\}$$

$$L_w = \left\{ \frac{0,55^2 + 0,55 \cdot 0,35 + 0,35^2}{3(0,55 + 0,35)} \right\} + \frac{0,25 \cdot 4,00}{3} \left\{ \frac{0,55 + 2 \cdot 0,35}{0,55 + 0,35} \right\}$$

$$L_w = 0,69 \text{ m}$$

Berat tanah:

$$L_s = \frac{h}{3}$$

$$L_s = \frac{4,00}{3}$$

$$L_s = 1,33 \text{ m}$$

Tekanan tanah aktif:

$$L_e = t_b + \frac{1}{3} \cdot mh$$

$$L_e = 0,55 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot 4,00 = 0,75 \text{ m}$$

$$h_e = \frac{1}{3} h$$

$$h_e = \frac{1}{3} \cdot 4,00 = 1,33 \text{ m}$$

Perhitungan momen:

Beban	Notasi	Gaya Vertikal (ton/m)	Gaya Horizontal (ton/m)	Lengan (m)	Momen Penahan (ton.m/m)	Momen Penguling (ton.m/m)
Berat sendiri	W_G	4,14		0,69	2,86	
Berat tanah	W_S	2,40		1,33	3,20	
Tekanan tanah aktif	P_a					
	P_{aV}	0,82		0,82	0,67	
	P_{aH}		1,90	1,33		-2,54
Σ		7,39	1,90		6,73	-2,54

1) Stabilitas terhadap penggulingan

Dengan menggunakan rumus (5):

$$FK_{\text{guling}} = \frac{6,73}{2,54} = 2,65 > 1,5 \text{ (OK)}$$

2) Stabilitas terhadap geser

Dengan menggunakan rumus (11) :

$$FK_{\text{geser}} = \frac{f \sum V + \tau_0 t_b}{\sum H}$$

Tekanan tanah efektif yang bekerja pada tubuh bendung:

$$\sigma = (\gamma_s - \gamma_w) h$$

$$\sigma = (1,5 - 1,0) \cdot 4,00$$

$$\sigma = 2,00 \text{ ton/m}^2$$

$$\tau_0 = 0 + 2,00 \tan 35^\circ$$

$$\tau_0 = 1,40 \text{ ton/m}^2$$

sehingga:

$$FK_{\text{geser}} = \frac{0,7 \cdot 7,39 + 1,40 \cdot 0,55}{1,90} = 3,11 > 1,5 \text{ (OK)}$$

3) Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi

Eksentrisitas resultan gaya:

$$X = \frac{6,73 - 2,54}{7,39} = 0,57 \text{ m}$$

$$e = \frac{0,57}{2} - 0,55 = -0,29 \text{ m}$$

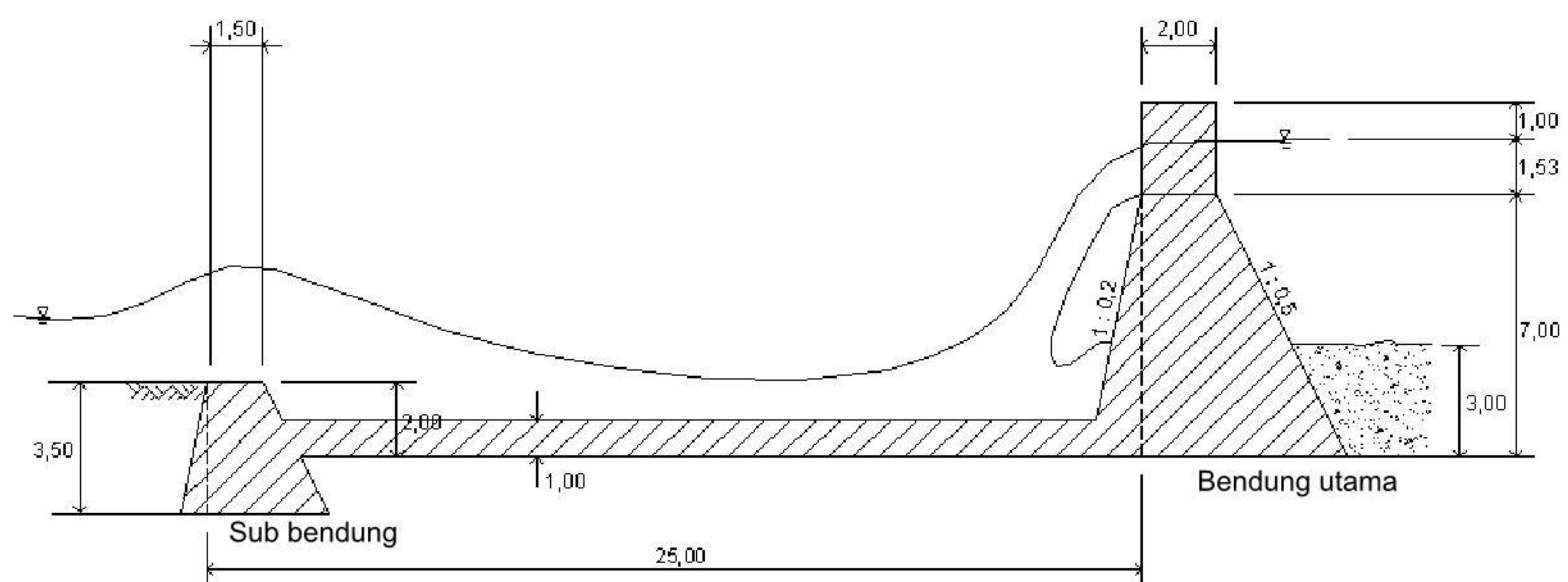
Tekanan tanah normal maksimum :

$$\sigma_1 = \frac{7,39}{0,55} \left[1 + \frac{6(-0,29)}{0,55} \right] = -29,68 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

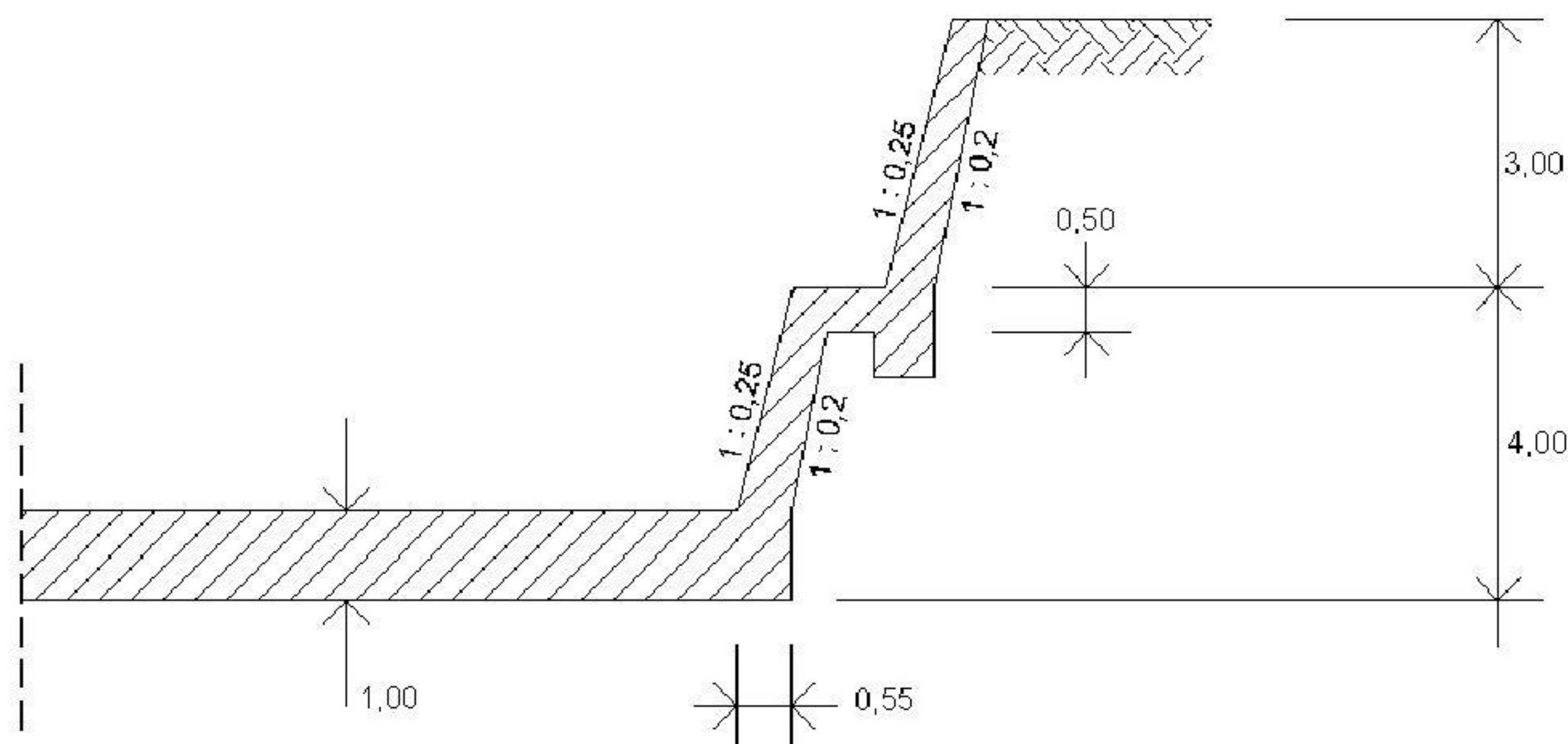
Tekanan tanah normal minimum :

$$\sigma_2 = \frac{7,39}{0,55} \left[1 - \frac{6 \cdot (-0,29)}{0,55} \right] = 56,45 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

Gambar Bangunan penahan sedimen dari hasil perhitungan:



Gambar tembok tepi hasil perhitungan :



D.2 Perhitungan untuk tinggi bendung utama > 15 m

Sebuah bangunan penahan sedimen akan dibangun pada alur sungai untuk menahan aliran sedimen konsentrasi tinggi. Dengan data-data sebagai berikut:

Kemiringan dasar sungai, I	=	0,03
Lebar sungai, B	=	100 m
Lebar peluap, B_1	=	70 m
Tinggi bendung utama, h	=	17 m
Tinggi endapan, h_s	=	6,80 m
Debit banjir, Q_p	=	350 m ³ /s
Konsentrasi sedimen, α	=	0,02
Berat isi beton, γ_c	=	2,3 ton/m ³ = 22,54 kN/m ³
Berat isi sedimen, γ_s	=	1,5 ton/m ³ = 12,74 kN/m ³
Berat isi air, γ_w	=	1,0 ton/m ³ = 9,80 kN/ m ³

Debit desain dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$Q_d = (1 + \alpha) \times Q_p = (1 + 0,02) \times 350 = 357,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

a) Perhitungan dimensi peluap

Dengan menggunakan rumus (2) :

$$Q_d = \frac{2}{15} C \sqrt{2g} [3B_1 + 2B_2] h_3^{3/2}$$

bila $C = 0,60$ dan $m_2 = 0,50$, maka :

$$Q_d = [0,71h_3 + 1,77B_1] h_3^{3/2}$$

$$357,00 = [0,71h_3 + 1,77 \cdot 70] \cdot h_3^{3/2}$$

$$357,00 = 0,71h_3^{5/2} + 123,90h_3^{3/2}$$

nilai h_3 dapat diperoleh dengan cara *trial and error*.

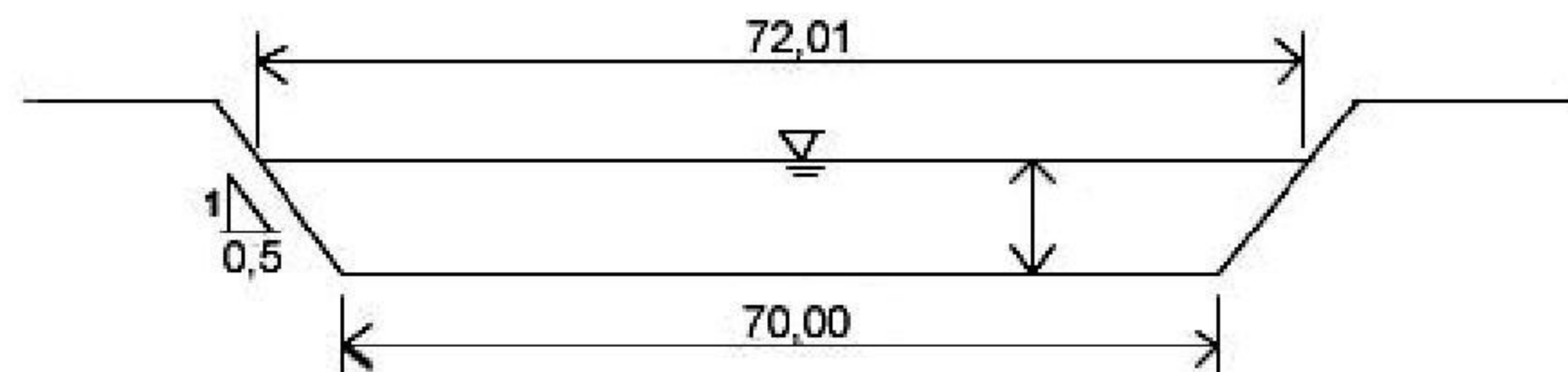
Misalkan $h_3 = 2,01$,

$$Q_d = 0,71 \cdot 2,01^{5/2} + 123,90 \cdot 2,01^{3/2}$$

$$Q_d = 357,14 \approx 357,00$$

maka diambil $h_3 = 2,01$ m.

Tinggi jagaan diambil, $F = 1,20$ m (Tabel C.1)



b) Perhitungan lebar mercu peluap

Untuk menentukan lebar mercu peluap bangunan penahan sedimen diambil dari Tabel C.2 dengan mempertimbangkan jenis sedimen dan sifat hidraulik alirannya.

Untuk kondisi sedimen berupa batu-batu besar dan alirannya merupakan gerakan massa (*debris flow*) maka lebar mercu diambil, $b_2 = 3,50$ m.

c) Perhitungan kemiringan tubuh bendung utama

Kemiringan bagian hulu (untuk tinggi bangunan penahan sedimen ≥ 15 m) dihitung dengan menggunakan persamaan (4):

$$\begin{aligned} & \{ (1 + \alpha - \omega)(1 - \mu) + \delta(2\varepsilon^2 - \varepsilon^3) \} m^2 + [2(n + \beta) \\ & \{ 1 + \delta\varepsilon^2 - \mu(1 + \alpha - \omega) - \omega \} + n(4\alpha + \gamma) + 2\alpha\beta] m \\ & - (1 + 3\alpha) - \mu(1 + \alpha - \omega)(n + \beta)^2 - \delta C_s \varepsilon^2 + \alpha\beta \\ & (4n + \beta) + \gamma(3n\beta + \beta^2 + n^2) - \omega(\beta + n)^2 = 0 \end{aligned}$$

Dimana:

$n = 0,2$ (supaya aliran tidak menyusur permukaan bendung bagian hilir/aman terhadap benturan batuan yang jatuh)

$$\alpha = (h_3 + F)/h = 0,189$$

$$\beta = b_1/h = 0,206$$

$$\omega = h_2'/h = 0,170$$

$$\mu = 0,33$$

$$\delta = \gamma_s/\gamma_w = 1,5$$

$$\gamma = \gamma_c/\gamma_w = 2,3$$

$$\varepsilon = h_s/h = 0,4$$

$$C_s = 0,30$$

sehingga persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} & \{ (1 + 0,189 - 0,170)(1 - 0,33) + 1,5(2 \cdot 0,4^2 - 0,4^3) \} m^2 + [2(0,2 + 0,206) \\ & \{ 1 + 1,5 \cdot 0,4^2 - 0,33(1 + 0,189 - 0,170) - 0,170 \} + 0,2(4 \cdot 0,189 + 2,3) + 2 \cdot 0,189 \cdot 0,206] m \\ & - (1 + 3 \cdot 0,189) - 0,33(1 + 0,189 - 0,170)(0,2 + 0,206)^2 - 1,5 \cdot 0,30 \cdot 0,4^2 + 0,189 \cdot 0,206 \\ & (4 \cdot 0,2 + 0,206) + 2,3(3 \cdot 0,2 \cdot 0,206 + 0,206^2 + 0,2^2) - 0,170(0,206 + 0,2)^2 = 0 \\ & 1,066m^2 + 1,284m - 1,209 = 0 \\ & m = 0,62 \\ & \text{Ambil } m = 1 \end{aligned}$$

d) Perhitungan dimensi kolam olak

Panjang lantai kolam olak (L) dihitung berdasarkan persamaan hidraulik dengan rumus (15) sampai (23):

$$L = b_1 + x + l_w$$

Lebar mercu sub bendung diambil, $b_1 = 3,00$ m.

$$x = \beta h_j$$

$$h_j = \frac{h_1''}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right]$$

$$h_1'' = \frac{q_1}{h_3} = \frac{357,00/72,01}{2,01} = 2,47 \text{ m}$$

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1''}}$$

$$V_1 = \sqrt{2g(h_1'' + h_3)} = \sqrt{2 \cdot 9,8(2,47 + 2,01)} = 9,37 \text{ m/s}$$

$$F_1 = \frac{9,37}{\sqrt{9,8 \cdot 2,47}} = 1,91$$

$$h_j = \frac{2,47}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \cdot 1,91^2} - 1 \right] = 5,53 \text{ m}$$

$$x = 4,50 \cdot 5,53 = 24,87 \text{ m}$$

$$l_w = V_0 \left[\frac{2(h_1 + \frac{1}{2}h_3)}{g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_0 = \frac{q_0}{h_3} = \frac{357,00/70,00}{2,01} = 2,54 \text{ m/s}$$

Tebal lantai kolam olak (t) dan tinggi efektif bendung (H_1) dihitung menggunakan rumus (26):

$$t = 0,1 (0,6 h_1 + 3h_3 - 1,0)$$

sedangkan $h_1 = h - t$, maka:

$$t = 0,1 (0,6 (h - t) + 3h_3 - 1,0)$$

$$t = 0,1 (0,6 (17 - t) + 3 \cdot 2,01 - 1,0)$$

$$t = 1,523 - 0,06.t$$

$$t = 1,44 \text{ m} \approx 1,50 \text{ m}$$

$$h_1 = 17 - 1,50 = 15,50 \text{ m}$$

$$l_w = 2,54 \left[\frac{2(15,50 + \frac{1}{2} \cdot 2,01)}{9,8} \right]^{\frac{1}{2}} = 4,66 \text{ m}$$

$$L = 4,66 + 24,87 + 3,00 = 32,53 \text{ m} \approx 33,00 \text{ m}$$

Dengan rumus empiris (24):

$$L = (1,5 \text{ s.d. } 2,0) \times (h_1 + h_3)$$

$$L = 1,75 \times (15,50 + 2,01)$$

$$L = 30,64 \text{ m} \approx 31,00 \text{ m}$$

Diambil panjang kolam olak, $L = 33,00$ m.

e) Perhitungan dimensi tubuh sub bendung

Tinggi sub bendung dihitung dengan rumus empiris (1):

$$h_2 = \left(\frac{1}{3} \text{ s.d. } \frac{1}{4} \right) \times h$$

$$h_2 = \frac{1}{3} \times h = \frac{1}{3} \times 17 = 5,67 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{1}{4} \times h = \frac{1}{4} \times 17 = 4,25 \text{ m}$$

Ambil $h_2 = 4,50$

Tinggi ambang sub bendung:

$$h_1' = h_2 - t$$

$$h_1' = 4,50 - 1,50$$

$$h_1' = 3,00 \text{ m}$$

f) Perhitungan stabilitas bendung (keadaan normal)

Dari perhitungan sebelumnya:

$$m = 1$$

$$n = 0,2$$

$$b_2' = mh + nh + b_2$$

$$b_2' = 1 \cdot 17 + 0,2 \cdot 17 + 3,50$$

$$b_2' = 17 + 3,40 + 3,50$$

$$b_2' = 23,90 \text{ m}$$

Gaya-gaya yang bekerja:

Berat sendiri:

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma_c m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 1 \cdot 17^2 = 332,35 \text{ ton/m}$$

$$W_2 = \gamma_c b_2 h = 2,3 \cdot 3,50 \cdot 17 = 136,85 \text{ ton/m}$$

$$W_3 = \frac{1}{2} \gamma_c n h^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 0,2 \cdot 17^2 = 66,47 \text{ ton/m}$$

Tekanan air statik:

$$P_v = \frac{1}{2} \gamma_w m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 17^2 = 144,50 \text{ ton/m}$$

$$P_h = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 17^2 = 144,50 \text{ ton/m}$$

Tekanan tanah/sedimen:

$$P_{sv} = \frac{1}{2} \gamma_s m h_s^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 6,80^2 = 216,75 \text{ ton/m}$$

$$P_{sh} = \frac{1}{2} C_s \gamma_s h_s^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,30 \cdot 1,5 \cdot 6,80^2 = 10,40 \text{ ton/m}$$

Gaya ke atas (*uplift*):

$$U_1 = \frac{1}{2} \gamma_w \mu b_2' (h - h_1'') = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 0,33 \cdot 23,90 (17 - 2,47) = 57,31 \text{ ton/m}$$

$$U_2 = \gamma_w b_2' h_1'' = 1,0 \cdot 23,90 \cdot 2,47 = 58,93 \text{ ton/m}$$

Gaya inersia karena gempa:

$$I_1 = \frac{1}{2} K \gamma_c m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot 2,3 \cdot 1 \cdot 17^2 = 49,85 \text{ ton/m}$$

$$I_2 = K \gamma_c b_2' h = 0,15 \cdot 2,3 \cdot 23,90 \cdot 17 = 140,17 \text{ ton/m}$$

$$I_3 = \frac{1}{2} K \gamma_c n h^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot 2,3 \cdot 0,2 \cdot 17^2 = 9,97 \text{ ton/m}$$

Tekanan air dinamik:

Dari Gambar B.11b untuk $m = 1 \Rightarrow \theta = 45^\circ$ maka $C_m = 0,425$.

Dari Gambar B.11c untuk $h_x/h_o = (h-h_s)/h = (17-6,8)/17 = 0,6$ maka $\eta = 0,66$.

$$P_{dv} = \frac{1}{2} \eta C_m K \gamma_w m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,66 \cdot 0,425 \cdot 0,15 \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 17^2 = 6,08 \text{ ton/m}$$

$$P_{dh} = \frac{1}{2} \eta C_m K \gamma_w h^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,66 \cdot 0,425 \cdot 0,15 \cdot 1,0 \cdot 17^2 = 6,08 \text{ ton/m}$$

Panjang lengan dari gaya-gaya yang bekerja terhadap titik A:

Berat sendiri:

$$L_{w1} = \frac{2}{3}mh = \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot 17 = 11,33 \text{ m}$$

$$L_{w2} = mh + \frac{1}{2}b_2 = 1 \cdot 17 + \frac{1}{2} \cdot 3,50 = 18,75 \text{ m}$$

$$L_{w3} = mh + b_2 + \frac{1}{3}nh = 1 \cdot 17 + 3,50 + \frac{1}{3} \cdot 0,2 \cdot 17 = 21,63 \text{ m}$$

Tekanan air statik:

$$L_{pv} = \frac{1}{3}mh = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 17 = 5,67 \text{ m}$$

$$L_{ph} = \frac{1}{3}h = \frac{1}{3} \cdot 17 = 5,67 \text{ m}$$

Tekanan tanah/sedimen:

$$L_{sv} = \frac{1}{3}mh_s = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 6,80 = 2,27 \text{ m}$$

$$L_{sh} = \frac{1}{3}h_s = \frac{1}{3} \cdot 6,80 = 2,27 \text{ m}$$

Gaya ke atas (*uplift*):

$$L_{u1} = \frac{1}{3}b_2' = \frac{1}{3} \cdot 23,90 = 7,97 \text{ m}$$

$$L_{u2} = \frac{1}{2}b_2' = \frac{1}{2} \cdot 23,90 = 11,95 \text{ m}$$

Gaya inersia karena gempa:

$$L_{i1} = \frac{1}{3}h = \frac{1}{3} \cdot 17 = 5,67 \text{ m}$$

$$L_{i2} = \frac{1}{2}h = \frac{1}{2} \cdot 17 = 8,50 \text{ m}$$

$$L_{i3} = \frac{1}{3}h = \frac{1}{3} \cdot 17 = 5,67 \text{ m}$$

Tekanan air dinamik:

Dari Gambar B.11c untuk $h_x/h_o = 0,6$ maka $\lambda = 0,382$.

$$L_{pdv} = \lambda mh = 0,382 \cdot 1 \cdot 17 = 6,49 \text{ m}$$

$$L_{pdh} = \lambda h = 0,382 \cdot 17 = 6,49 \text{ m}$$

Perhitungan momen untuk keadaan normal:

Beban	Notasi	Gaya Vertikal (ton/m)	Gaya Horizontal (ton/m)	Lengan (m)	Momen Penahan (ton.m/m)	Momen Penguling (ton.m/m)
Berat sendiri	W					
	W ₁	332,35		11,33	3766,63	
	W ₂	136,85		18,75	2565,94	
	W ₃	66,47		21,63	1437,97	
Tekanan air statik	P					
	P _v	144,50		5,67	818,83	
	P _h		144,50	5,67		-818,83
Tekanan tanah / sedimen	P _s					
	P _{sv}	216,75		2,27	491,30	
	P _{sh}		10,40	2,27		-23,58
Gaya ke atas	U					
	U ₁	-57,31		7,97		-456,59
	U ₂	-58,95		11,95		-704,44
Gaya inersia karena gempa	I					
	I ₁		49,85	5,67		-470,83
	I ₂		140,17	8,50		-1985,79
	I ₃		9,97	5,67		-94,17
Tekanan air dinamik	P _d					
	P _{dv}	6,08		6,49	65,80	
	P _{dh}		6,08	6,49		-65,80
Σ		786,74	360,98		9120,15	-3573,40

- 1) Stabilitas terhadap penggulingan
Dengan menggunakan rumus (5):

$$FK_{\text{guling}} = \frac{\sum M_{VA}}{\sum M_{HA}} = \frac{9120,15}{3573,40} = 2,55 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- 2) Stabilitas terhadap geser
Dengan menggunakan rumus (11):

$$FK_{\text{geser}} = \frac{f \sum V + \tau_0 b_2'}{\sum H}$$

Dari Tabel B.5, diambil $f = 0,7$.

$$\tau_0 = c + \sigma \tan \phi$$

Kohesi untuk tanah pasir, $c = 0$.

Sudut geser tanah, $\phi = 35^\circ$

Tekanan tanah efektif yang bekerja pada tubuh bendung:

$$\sigma = \gamma_w (h - h_s) + (\gamma_s - \gamma_w) \cdot h_s$$

$$\sigma = 1,0(17 - 6,8) + (1,5 - 1,0) \cdot 6,8$$

$$\sigma = 13,60 \text{ ton/m}^2$$

$$\tau_0 = 0 + 13,60 \cdot \tan 35^\circ$$

$$\tau_0 = 9,52 \text{ ton/m}^2$$

$$FK_{\text{geser}} = \frac{0,7 \cdot 786,74 + 9,52 \cdot 23,90}{360,98} = 2,16 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- 3) Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi
Dengan menggunakan rumus (10).

Tekanan tanah normal maksimum:

$$\sigma_1 = \frac{\sum V}{b_2'} \left[1 + \frac{6e}{b_2'} \right]$$

Tekanan tanah normal minimum:

$$\sigma_2 = \frac{\sum V}{b_2'} \left[1 - \frac{6e}{b_2'} \right]$$

Eksentrisitas resultan gaya:

$$e = \frac{b_2'}{2} - X$$

$$X = \frac{\sum M}{\sum V}$$

$$X = \frac{9120,15 - 3573,40}{786,74} = 7,05 \text{ m}$$

$$e = \frac{23,90}{2} - 7,05 = 4,90 \text{ m}$$

Tekanan tanah normal maksimum:

$$\sigma_1 = \frac{786,74}{23,90} \left[1 + \frac{6 \cdot 4,90}{23,90} \right] = 91,18 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

Tekanan tanah normal minimum:

$$\sigma_2 = \frac{786,74}{23,90} \left[1 - \frac{6 \cdot 4,90}{23,90} \right] = -25,35 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

- g) Perhitungan stabilitas bendung (keadaan banjir)

Gaya-gaya yang bekerja:

Berat sendiri:

$$W_1 = 332,35 \text{ ton/m}$$

$$W_2 = 136,85 \text{ ton/m}$$

$$W_3 = 66,47 \text{ ton/m}$$

Tekanan air statik:

$$P_{v1} = \frac{1}{2} \gamma_w m h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 1 \cdot 17^2 = 144,50 \text{ ton/m}$$

$$P_{v2} = \gamma_w m h_3 \cdot h = 1,0 \cdot 1 \cdot 2,01 \cdot 17 = 34,17 \text{ ton/m}$$

$$P_{v3} = \gamma_w b_2 h_3 = 1,0 \cdot 3,50 \cdot 2,01 = 7,04 \text{ ton/m}$$

$$P_{h1} = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 17^2 = 144,50 \text{ ton/m}$$

$$P_{h2} = \gamma_w h_3 h = 1,0 \cdot 2,01 \cdot 17 = 34,17 \text{ ton/m}$$

Tekanan tanah/sedimen:

$$P_{sv} = 216,75 \text{ ton/m}$$

$$P_{sh} = 10,40 \text{ ton/m}$$

Gaya ke atas (*uplift*):

$$U_1 = 57,31 \text{ ton/m}$$

$$U_2 = 58,95 \text{ ton/m}$$

Panjang lengan dari gaya-gaya yang bekerja terhadap titik A

Berat sendiri:

$$L_{w1} = 11,33 \text{ m}$$

$$L_{w2} = 18,75 \text{ m}$$

$$L_{w3} = 21,63 \text{ m}$$

Tekanan air statik:

$$L_{pv1} = \frac{1}{3} mh = \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 17 = 5,67 \text{ m}$$

$$L_{pv2} = \frac{1}{2} mh = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 17 = 8,50 \text{ m}$$

$$L_{pv3} = mh + \frac{1}{2} b_1 = 1 \cdot 17 + \frac{1}{2} \cdot 3,50 = 18,75 \text{ m}$$

$$L_{ph1} = \frac{1}{3} h = \frac{1}{3} \cdot 17 = 5,67 \text{ m}$$

$$L_{ph2} = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \cdot 17 = 8,50 \text{ m}$$

Tekanan tanah/sedimen:

$$L_{sv} = 2,27 \text{ m}$$

$$L_{sh} = 2,27 \text{ m}$$

Gaya ke atas (*uplift*):

$$L_{u1} = 7,97 \text{ m}$$

$$L_{u2} = 11,95 \text{ m}$$

Perhitungan momen untuk keadaan banjir:

Beban	Notasi	Gaya Vertikal (ton/m)	Gaya Horizontal (ton/m)	Lengan (m)	Momen Penahan (ton.m/m)	Momen Penguling (ton.m/m)
Berat sendiri	W					
	W ₁	332,35		11,33	3766,63	
	W ₂	136,85		18,75	2565,94	
	W ₃	66,47		21,63	1437,97	
Tekanan air statik	P					
	P _{v1}	144,50		5,67	818,83	
	P _{v2}	34,17		8,50	290,45	
	P _{v3}	7,04		18,75	131,91	
	P _{h1}		144,50	5,67		-818,83
	P _{h2}		34,17	8,50		-290,45
Tekanan tanah / sedimen	P _s					
	P _{sv}	216,75		2,27	491,30	
	P _{sh}		10,40	2,27		-23,58
Gaya ke atas	U					
	U ₁	-57,31		7,97		-456,59
	U ₂	-58,95		11,95		-704,44
Σ		821,86	189,07		9.503,02	-2.293,90

- 1) Stabilitas terhadap penggulingan
Dengan menggunakan rumus (5):

$$FK_{\text{guling}} = \frac{\sum M_{VA}}{\sum M_{HA}} = \frac{9.503,02}{2.293,90} = 4,14 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- 2) Stabilitas terhadap geser
Dengan menggunakan rumus (11):

$$FK_{\text{geser}} = \frac{f \sum V + \tau_0 b_2'}{\sum H}$$

Tekanan tanah efektif yang bekerja pada tubuh bendung:

$$\sigma = \gamma_w (h + h_3 - h_s) + (\gamma_s - \gamma_w) h_s$$

$$\sigma = 1,0(17 + 2,01 - 6,8) + (1,5 - 1,0) \cdot 6,8$$

$$\sigma = 15,61 \text{ ton/m}^2$$

$$\tau_0 = 0 + 15,61 \cdot \tan 35^\circ$$

$$\tau_0 = 10,93 \text{ ton/m}^2$$

$$FK_{\text{geser}} = \frac{0,7 \cdot 821,96 + 10,93 \cdot 23,90}{189,07} = 4,42 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- 3) Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi
Dengan menggunakan rumus (10):

$$X = \frac{9503,02 - 2293,906}{821,8} = 8,77 \text{ m}$$

$$e = \frac{23,90}{2} - 8,77 = 3,18 \text{ m}$$

Tekanan tanah normal maksimum:

$$\sigma_1 = \frac{821,86}{23,90} \left[1 + \frac{6 \cdot 3,18}{23,90} \right] = 61,83 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

Tekanan tanah normal minimum:

$$\sigma_2 = \frac{821,86}{23,90} \left[1 - \frac{6 \cdot 3,18}{23,90} \right] = 6,95 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

- h) Perhitungan panjang lintasan kritis

Dengan menggunakan rumus (13):

$$C_c = \frac{\ell + 2d}{\Delta H}$$

Dari Tabel B.6 nilai batasan untuk C_c dengan karakter material campuran pasir dan kerikil adalah 9.

Panjang lintasan kritis arah horizontal, $\ell = 54,60 \text{ m}$.

Panjang lintasan kritis arah vertikal, $d = 30,65 \text{ m}$.

Selisih tinggi muka air, $\Delta H = h + h_3 - h_1 = 17 + 2,01 - 2,47 = 16,54 \text{ m}$.

Sehingga diperoleh:

$$C_c = \frac{54,60 + 2 \cdot 30,65}{16,54} = 4,25 < 9 \text{ (OK)}$$

- i) Perhitungan stabilitas tembok tepi

Tinggi tembok tepi, $h = t + h_j + F = 1,50 + 5,53 + 1,20 = 8,23 \text{ m} \approx 8,50 \text{ m}$

Karena $h > 3 \text{ m}$, maka tembok tepi dibuat bertingkat (bertrap) dengan pembagian sebagai berikut:

Trap 1 : $h_1 = 4,5 \text{ m}$

Trap 2 : $h_2 = 4 \text{ m}$

Dengan asumsi desain trap 1 dan 2 sama dan pertimbangan $h_1 > h_2$ maka dalam perhitungan stabilitas tembok tepi ini cukup dihitung trap 1 saja.

$\phi = 35^\circ$ (pasir)

$\delta = 2/3\phi = 2/3 \cdot 35^\circ = 23,33^\circ$

$t_a = 0,50 \text{ m}$

$\alpha = 0^\circ$

$m = 0,2$

$n = 0,25$

$t_b = t_a + n \cdot h - m \cdot h$

$t_b = 0,5 + 0,25 \cdot 4,50 - 0,2 \cdot 4,50$

$t_b = 0,575 \text{ m} \approx 0,60 \text{ m}$

Gaya-gaya yang bekerja:

Berat sendiri:

$$W_G = \frac{h}{2} (t_a + t_b) \gamma_c$$

$$W_G = \frac{4,50}{2} (0,50 + 0,60) \cdot 2,3$$

$$W_G = 4,92 \text{ ton/m}$$

Berat tanah:

$$W_s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot h^2 \cdot \gamma_s$$

$$W_s = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 4,50^2 \cdot 1,50$$

$$W_s = 3,04 \text{ ton/m}$$

Tekanan tanah aktif:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_s h^2$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\theta + \delta) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right\}^2}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(35 - (-11,31))}{\cos^2(-11,31) \cos(-11,31 + 23,33) \cdot \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(35 + 23,33) \sin(35 - 0)}{\cos(-11,31 + 23,33) \cos(-11,31 - 0)}} \right\}^2}$$

$$K_a = 0,173$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot 0,173 \cdot 1,5 \cdot 4,50^2$$

$$P_a = 2,62 \text{ ton/m}$$

$$P_{aV} = P_a \sin \delta$$

$$P_{aV} = 2,62 \cdot \sin 23,33 = 1,04 \text{ ton/m}$$

$$P_{aH} = P_a \cos \delta$$

$$P_{aH} = 2,62 \cdot \cos 23,33 = 2,41 \text{ ton/m}$$

Panjang lengan gaya-gaya yang bekerja terhadap titik O

Berat sendiri:

$$L_w = \left\{ \frac{t_b^2 + t_b t_a + t_a^2}{3(t_b + t_a)} \right\} + \frac{nh}{3} \left\{ \frac{t_b + 2t_a}{t_b + t_a} \right\}$$

$$L_w = \left\{ \frac{0,60^2 + 0,60 \cdot 0,50 + 0,50^2}{3(0,60 + 0,50)} \right\} + \frac{0,25 \cdot 4,50}{3} \left\{ \frac{0,60 + 2 \cdot 0,50}{0,60 + 0,50} \right\}$$

$$L_w = 0,76 \text{ m}$$

Berat tanah:

$$L_s = h/3$$

$$L_s = 4,50/3$$

$$L_s = 1,50 \text{ m}$$

Tekanan tanah aktif:

$$L_e = t_b + \frac{1}{3} \cdot mh$$

$$L_e = 0,60 + \frac{1}{3} \cdot 0,2 \cdot 4,50 = 0,90 \text{ m}$$

$$h_e = \frac{1}{3} h$$

$$h_e = \frac{1}{3} \cdot 4,50 = 1,50 \text{ m}$$

Perhitungan momen:

Beban	Notasi	Gaya Vertikal (ton/m)	Gaya Horizontal (ton/m)	Lengan (m)	Momen Penahan (ton.m/m)	Momen Penguling (ton.m/m)
Berat sendiri	W_G	4,92		0,76	3,72	
Berat tanah	W_S	3,04		1,50	4,56	
Tekanan tanah aktif	P_a					
	P_{aV}	1,04		0,90	0,94	
	P_{aH}		2,41	1,50		-3,61
Σ		8,99	2,41		9,21	-3,61

- 1) Stabilitas terhadap penggulingan
Dengan menggunakan rumus (5):

$$FK_{\text{guling}} = \frac{9,21}{3,61} = 2,54 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- 2) Stabilitas terhadap geser
Dengan menggunakan rumus (11):

$$S_{f \text{ geser}} = \frac{f \sum V + \tau_0 DB}{\sum H}$$

Tekanan tanah efektif yang bekerja pada tubuh bendung:

$$\sigma = (\gamma_s - \gamma_w) H$$

$$\sigma = (1,5 - 1,0) \cdot 4,50$$

$$\sigma = 2,25 \text{ ton/m}^2$$

$$\tau_0 = 0 + 2,25 \cdot \tan 35^\circ$$

$$\tau_0 = 1,58 \text{ ton/m}^2$$

sehingga:

$$FK_{\text{geser}} = \frac{0,7 \cdot 8,99 + 1,58 \cdot 0,60}{2,41} = 3,00 > 1,5 \text{ (OK)}$$

- 3) Stabilitas terhadap daya dukung tanah fondasi
Eksentrisitas resultan gaya:

$$X = \frac{9,21 - 3,61}{8,99} = 0,62 \text{ m}$$

$$e = \frac{0,60}{2} - 0,62 = -0,32 \text{ m}$$

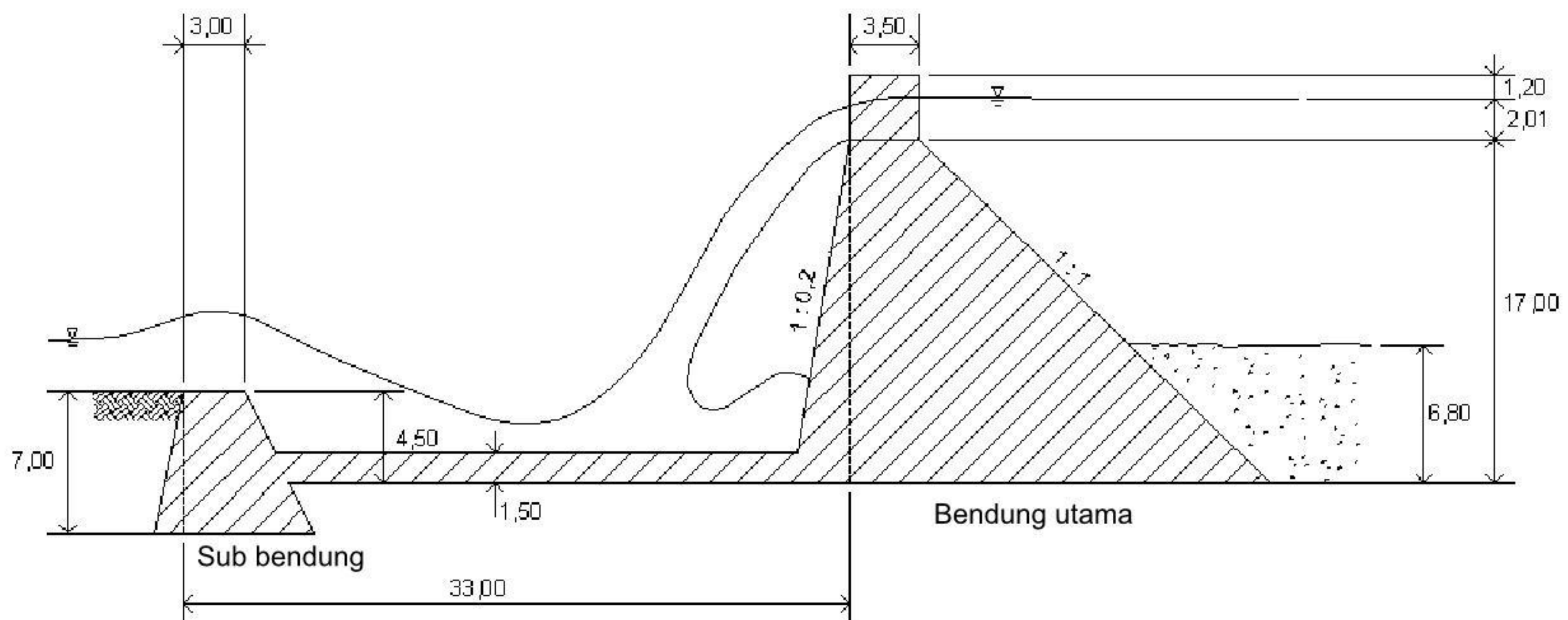
Tekanan tanah normal maksimum:

$$\sigma_1 = \frac{8,99}{0,60} \left[1 + \frac{6(-0,32)}{0,60} \right] = -33,28 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

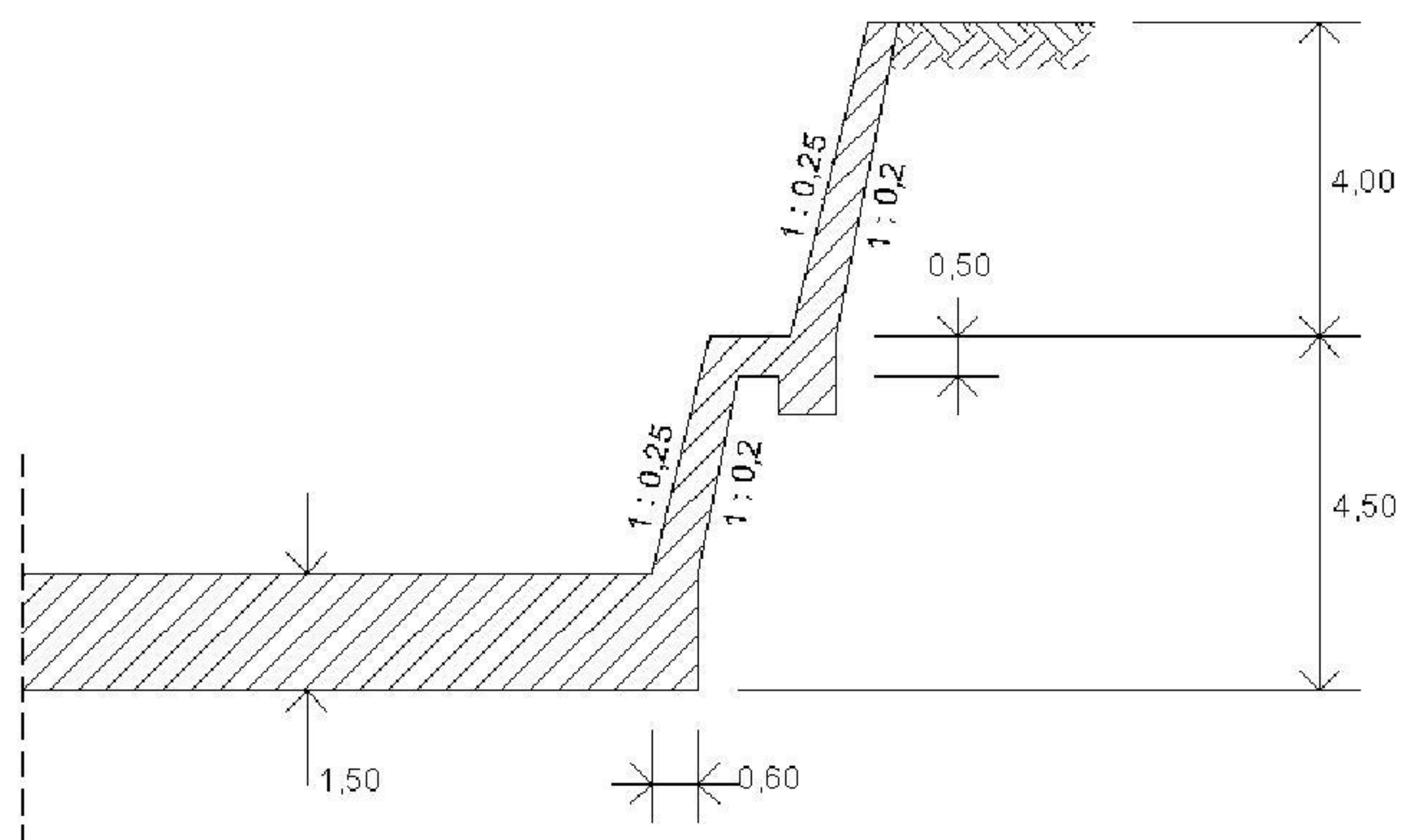
Tekanan tanah normal minimum :

$$\sigma_2 = \frac{8,99}{0,60} \left[1 - \frac{6(-0,32)}{0,60} \right] = 63,26 \text{ ton/m}^2 < 100 \text{ ton/m}^2 \text{ (OK)} = 980 \text{ kPa (OK)}$$

Gambar Bangunan penahan sedimen dari hasil perhitungan:



Gambar tembok tepi hasil perhitungan:



Bibliografi

- Craig, R. F., Susilo Budi, S. 1991. *Mekanika Tanah*. Jakarta.
- Departemen PU. 2004. *Pd T-14-2004-A. Analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Henderson, F. M., 1966, *Open Channel Flow*, Mc. Grow Hill, New York.
- Hirozomi, T. 1985. *Glossary of Terminology on Sabo Engineering*. VSTC, Yogyakarta.
- Joseph E., Bowles. 1988. *Foundation Analysis Design, Fourth Edition*. Mc Grow Hill, New York.
- PP No 38. 2011, *Tentang sungai*.
- RSNI M-02-2002, *Tata cara analisis dan pengendalian rembesan air untuk bendungan tipe urugan*.
- Setkab RI. 2004. *Undang-Undang Republik Indonesia nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta.
- Setkab RI. 2007. *Undang-Undang Republik Indonesia nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta
- Setkab RI. 2008. *Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 12 tahun 2008 tentang Dewan Sumber Daya Air*. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta.
- SNI 03-1724-1991, *Tata cara perencanaan umum dan analisis hidrologi dan hidraulik untuk desain bangunan di sungai*.
- SNI 03-7043-2004, *Tata cara desain hidraulik tubuh bendung tetap dengan peredam energi tipe MDL*.
- Sosrodarsono, Suyono; Tominaga, Mastaru; Gayo, Yusuf, M.; dkk, 1985. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, Pradnya Parmita, Jakarta.
- Sumaryono, Agus. 1988. *Design of Sabo Structure, International Training Course on Sabo Engineering*. Ministry of Public Work and Japan International Cooperation Agency, Yogyakarta.